FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1963

THÈSE

N° 10

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ETAT

PAR

PHUON-MONICH

né le 2 Mars 1925 à KOMPONG-THOM (Cambodge)

Présentée et soutenue publiquement le :

LA CAPACITE DE TRAVAIL STATIQUE INTERMITTENT

(Travail du Laboratoire de Physiologie de
l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens)

Président : M. BARGETON, Professeur.

EDITIONS A. G. E. M. P. — 8, RUE DANTE - PARIS-Ve

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1963

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ETAT

PAR

PHUON-MONICH

né le 2 Mars 1925 à KOMPONG-THOM (Cambodge)

Présentée et soutenue publiquement le :

LA CAPACITE DE TRAVAIL STATIQUE INTERMITTENT

(Travail du Laboratoire de Physiologie de
l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens)

Président : M. BARGETON, Professeur.

EDITIONS A. G. E. M. P. — 8, RUE DANTE · PARIS-Ve

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40152013_0008

1-2-1962

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouanine (T.), Aubin (A.), Bénard (H.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Chabrol (E.), Champy (C.), Debré (R.), Fey (B.), Gastinel (P.), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Lantuejoul (P.), Laroche (G.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Mathieu (P.), Mocquot (P.), Mondor (H.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Olivier (E.), Pasteur Valléry-Radot, Petit-Dutaillis (D), Quénu (J.), Richet (C.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.).

DOYEN . . . . . Léon BINET.
Membre de l'Institut

1er ASSESSEUR . . . . . Jean VERNE
2e ASSESSEUR . . . . . Gaston CORDIER

I. — PROFESSEURS

1° CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.) SCHAPIRA (G.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Embryologie	GIROUD (A.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie (Lariboisière)	N...
Histologie	VERNE (J.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	PIEDELIÈVRE (R.)
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)
Parasitologie	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	HUGUIER (J.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	MILLIEZ (P.)
Pathologie respiratoire	TURIAF (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	BOUDIN (G.)
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BINET (L.) BARGETON (D.)
Physiologie et pathologie obstétricale	LEPAGE (F.)
Physique médicale	DOGNON (A.) DJOURNO (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	N...
Thérapeutique	CONTE (M.)

b) Professeurs à titre personnel :

Biochimie médicale	DESGREZ (P.) POLONOVSKI (J.)
Biologie médicale	BOURLIÈRE (F.)
Embryologie	TUCHMANN (H.)
Hygiène et médecine préventive	DEPARIS (M.)
Parasitologie	BRUMPT (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
Pharmacologie	LÉVY (Mlle J.)
Physiologie	PARROT (J.)
Physique médicale	KELLERSHOHN (L.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

		MM.
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)		REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)		MOUQUIN (M.)
Cliniques chirurgicales	Beaujon	LORTAT-JACOB (J.-L.)
	Cochin	LEGER (L.)
	Hôtel-Dieu	PATEL (J.)
	Pitié	CORDIER (G.)
	Saint-Antoine	GOSSET (J.)
	Salpêtrière	SICARD (A.)
	Tenon	OLIVIER (Cl.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants Malades)		FÈVRE (M.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)		MERLE d'AUBIGNÉ (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)		GAUDART d'ALLAINES (F. de)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laennec)		MATHEY (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)		DECOURT (J.)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)		LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)		FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)		DEGOS (R.)
Clinique des maladies des Enfants (Enfants-Malades)		CATHALA (J.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)		MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)		DELAY (J.)
Cinique des maladies métaboliques (Necker)		HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)		MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)		CASTAIGNE (P.)
Cliniques médicales	Boucicaut	LENÈGRE (J.)
	Broussais	SOULIÉ (P.)
	Cochin	JUSTIN-BESANÇON (L.)
	Cochin	BROUET (G.)
	Hôtel-Dieu	BARIÉTY (M.)
	Lariboisière	SÈZE (S. de)
	Pitié	DREYFUS (G.)
	Saint-Antoine	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)		DEBRAY (C.)
Cliniques médicales propédeutique (Broussais)		GENNES (L. de)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)		DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)		DAVID (M.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)		GARCIN (R.)
Cliniques obstétricales	Baudelocque	LACOMME (M.)
	Foch (Suresnes)	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)		VARANGOT (J.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)		RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)		AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)		LELONG (M.)
Clinique de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)		MARIE (J.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laennec)		BERNARD (E.)
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)		MICHAUX (L.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)		COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)		DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)		ROUX (M.)
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)		LEMAIRE (A.)
Clinique toxicologique		GAULTIER (M.)
Clinique traumatologique		PADOVANI (P.)
Séméiologie médicale		DOMART (A.)
Séméiologie et clinique chirurgicales		POILLEUX (F.)
Clinique urologique (Necker)		COUVELAIRE (R.)
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)		TURPIN (R.)

b) Professeurs à titre personnel :

Médecine	BOUR (H.) LHERMITTE (F.) PEQUIGNOT (H.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAITRES DE CONFÉRENCES - AGRÉGÉS

	MM.
Anatomie	CABROL (C.) COUINAUD (C.) GILLOT (C.) OLIVIER (G.)
Anatomie pathologique	GAUTHIER-VILLARS (Mlle P.) pr. s. ch. ABELANET (R.) BUSSER (F.) CHOMETTE (G.) GOUYGOU (Ch.), m. conf. NEZELOFF (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)
Anesthésiologie	KERN (E.) VOURC'H (G.)
Bactériologie	BARBIER (P.) CHRISTOL (D.) LE MINOR (L.) TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	BAILLIEU Et. m. conf. BOURILLON (R.) CARTIER (P.) DREYFUS (J.-Cl.) GONNARD (P.) KRUH (J.) JEROME (H.)
Biologie appliquée à l'Education Physique et aux Sports	PLAS (F.)
Carcinologie	BOIRON (M.) DENOIX (P.) MATHE (G.) SELIGMANN (M.)
Dermato-Syphiligraphie	CIVATTE (J.) DUPERRAT (B.)
Electro-Radiologie	LEDOUX-LEBARD (G.)
Hématologie	BESSIS (M.) BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.) DUHAMEL (G.)
Histologie	COUJARD (R.), pr. s. ch. MAROIS (M.) RACADOT (J.)
Hydrologie	BESANÇON (F.) CORNET (A.)
Hygiène	BOYER (J.) pr. s. ch. BLANCHER (G.) CORRE-HURST (Mme L.) SAPIN-JALOUSTRE (H.)
Maladies infectieuses	BASTIN (R.) DUPONT (V.)
Médecine légale	DEROBERT (L.), pr. s. ch. FOURNIER (E.) GUENIOT (M.) HADENGUE (A.)
Médecine du travail	ALBAHARY (C.)
Neuro-chirurgie	PERTUISET (B.)
Obstétrique	GRANJON (A.) HERVET (E.) LE LORIER (G.) LEVY (J.) MORIN (P.) MUSSET (R.) ROBEY (M.) SENEZE (J.) SUREAU (C.) THOYER-ROZAT (J.)
Ophtalmologie	BRÉGEAT (P.) DUBOIS (A.) SARAUX (H.)

	MM.
Orthopédie	JUDET (R.) MEARY (R.) POSTEL (M.) RAMADIER (J.)
Oto-rhino-Laryngologie	DEBAIN (J.) PIALOUX (P.)
Parasitologie	GOLVAN (Y.) LAPIERRE (J.)
Pathologie chirurgicale	BARCAT (J.) BINET (J.-P.) CAUCHOIX (J.) CERBONNET (G.) CHATELIN (C.-L.) DUBOST (Ch.) DUBOST (Cl.) FAUREL (J.) FLABEAU (F.) GARBAY (M.) GARNIER (H.) (Cl. de) GAUDART-d'ALLAINES GERMAIN (A.) LATASTE (J.) LEVEQUE (B.) LOYGUE (J.) MERCADIER (M.) NATALI (J.) PELLERIN (D.) PERROTIN (J.) ROBERT (H.) THOMERET (G.)
Pathologie exotique	SCHNEIDER (J.)
Pathologie expérimentale	BENHAMOU (J.-P.) BERTHAUX (P.) BOIVIN (P.) CROSNIER (J.) HARTMANN (L.) LŒPER (J.) MAURICE (J.) MIKOL (Cl.) RICHET (G.)
Pathologie médicale	AUSSANNAIRE (M.) BOUVIER (J.) BOUVRAIN (Y.) BRICAIRE (H.) BRISSAUD (H.) BROCARD (H.) BUGE (A.) CATINAT (J.) CHRÉTIEN (J.) COBLENTZ (B.) CONTAMIN (F.) COURY (C.) ÉTIENNE (J.-P.) FREZAL (J.) FRITEL (D.) HENNEQUET (A.) HIMBERT (J.) HOUSSET (E.) LAROCHE (Cl.) LESOBRE (R.) MACREZ (C.) MOREAU (L.) NICK (J.) ROYER (P.) TOURNEUR (R.) WOLFROMM (R.)
Pédiatrie-Puériculture	JOSEPH (R.) LAFOURCADE (J.) LEPERCQ (G.) MANDE (R.) MOZZICONACCI (P.) POLONOVSKI (C.) ROSSIER (A.) VIALATTE (J.)

	MM.
Pharmacologie	BOISSIER (J.) LECHAT (P.)
Physiologie	BARRES (G.) DEJOURS (P.) DURAND (J.) GIRARD m. conf. HUGELIN (A.) SCHERRER (J.)
Physique médicale	CHANTEUR (J.) GOUGEROT (L.), m. conf. pr. s. ch. GREMY (F.) m. conf. MILHAUD (G.) PELLERIN (P.) ROUGAYROL (J.-Cl) TUBIANA(M.) m.conf.
Pneumo phtisiologie	KREIS (B.) MEYER (A.) RENAULT (P.)

	MM.
Psychiatrie	PICHOT (P.)
Psychiatrie infantile	DENIKER (P.) DUCHE (D.) FLAVIGNY (H.) LAPRESLE (J.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)
Stomatologie	CERNEA (P.) CHAPUT (Mme A.) m. c. agr. GRELLET (M.)
Thérapeutique	CHASSAGNE (P.) LAMOTTE (M.) MARCHE (J.)
Urologie	AUVERT (J.) MOULONGUET (A. QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent.

	MM.
Anatomie	DEBEYRE (J,)
Clinique chirurgicale	ABOULKER (P.) AMFLINE (A), pr. s. ch. VERNE (J.-M.)
Clinique médicale	PERRAULT (M.) RAMBERT (P.) THIEFFRY (S.)
Clinique obstétricale	GRASSET (J.) MAYER (M.)

	MM.
Clinique ophtalmologique	DESVIGNES (P.) OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique	MADURO (R.)
Clinique pédiatrique et puériculture	LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique	BARUK (H.)
Clinique urologique	KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie . . . . . HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.

Pathologie chirurgicale . . . . . RUDLER (J.) Pr. s. ch.

V. - CHARGÉS DE COURS D'HYGIÈNE SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE

BOLTANSKI (E.)
LAUNAY (C.)

Secrétaire général de la Faculté . . . . . M. LENA (J.)

Secrétaire principal . . . . . Mlle CHAINTREUIL (G.)

Conservateur en Chef de la Bibliothèque
Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine . . . . . M. le Docteur HAHN (A.)

Conservateur . . . . . Mlle DUMAITRE (P.)

Bibliothécaires . . . . . Mmes CONTET (J.), FORGET (F.),
Mlles LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A la mémoire de Sa Majesté PREAH KANCHANNAKOTH

Roi du Cambodge,

A Sa Majesté la Reine,

- Hommage de ma profonde vénération, de ma vive gratitude et de mon indéfectible dévouement.

A Samdech Sahachivin Préah Upayuvaréach NORODOM SIHANOUK,

- Père de l'Indépendance Nationale,

- Guide vénéré et éclairé du Peuple Khmer,

- Ma profonde admiration, mon entier attachement et mes très respectueux remerciements.

- Que ce modeste travail lui soit dédié pour avoir mis à l'honneur le travail manuel.

A Monsieur le Professeur D. BARGETON,

Professeur de Physiologie à la Faculté de Médecine de Paris,

qui a bien voulu accepter la présidence
de cette thèse, toute ma gratitude et
ma reconnaissance.

A Monsieur le Docteur H. MONOD,

Maître de Conférences Agrégé de Physiologie

à l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens

qui m'a inspiré le sujet de cette thèse,
m'a prodigué ses conseils pour mener
à bonne fin la partie expérimentale et
qui m'a aidé tout au long de sa rédaction,

toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Ce travail expérimental a été réalisé dans les Laboratoires de Physiologie de l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens et aux Laboratoires de Physiologie du Travail du C.N.A.M., à Paris.

Je tiens à remercier particulièrement ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail :

Monsieur le Professeur Gérard PERDU, Directeur de l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens, qui a bien voulu m'accueillir dans les locaux de son Ecole.

Monsieur le Professeur Jean SCHERRER, Directeur du Laboratoire de Physiologie du Travail du Conservatoire National des Arts et Métiers et du Centre National de la Recherche Scientifique, qui m'a accepté dans son laboratoire et a bien voulu me guider par ses conseils dans le domaine de la Physiologie musculaire.

Madame le Docteur F. LILLE, Chef de Travaux à l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens,

Monsieur H. ABOURACHID, Interne au Centre Hospitalier Régional d'Amiens,

Mademoiselle J. GOMIS, du Laboratoire de Physiologie du Travail du C.N.R.S., à Paris,

Monsieur DESESQUELLE, de l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie d'Amiens,

qui ont bien voulu participer à mon expérimentation ou à la préparation matérielle de ce texte.

A Monsieur le Docteur SONN-MAM

Médecin des Hôpitaux psychiatriques de la Seine,

Médecin de l'Hôpital psychiatrique de TAKHMAU,

Doyen de la Faculté Royale de Médecine de PHNOM-PENH,

Grand Officier de la Légion d'Honneur,

mes respectueuses affections.

A Monsieur le Professeur Max MEYNARD, Ancien Doyen de la Faculté Royale de Médecine dePHNOM-PENH,

ma reconnaissancma reconnaissance.

A Monsieur le Docteur RICHE qui m'a guidé vers la carrière médicale,

toute ma reconnaissance.

A Mademoiselle le Docteur WILM,

A Madame CHAMPAGNE, Docteur ès-Sciences,

toute ma reconnaissance.

A Monsieur le Docteur Etienne PLAGIE qui m'a encouragé et aidé tout au long de mes études médicales,

ma reconnaissance et mon amitié

A mes Maîtres de la Faculté Royale de Médecine et des Hôpitaux de PHNOM-PENH.

A ma Femme qui m'a toujours aidé à surmonter les difficultés de la vie avec beaucoup de courage et de patience,

Toute ma tendresse et mon affection.

A mes enfants :

PHUON MOYIVIN,
PHUON MONDARA,
PHUON MOYIVUDH,

Toute mon affection.

A mes chers parents, témoignage de mon affection
et de ma piété.

A mon oncle, Monsieur SOM-PHOEUNG,
toute mon affection.

A mon oncle, Monsieur SOM-TUN, Procureur du Roi
à KAMPOT,
mon affection et ma reconnaissance pour
m'avoir orienté vers les études médicales.

A ma famille, toute mon affection.

A mes collègues du Service des Eaux et Forêts et du
Ministère de l'Agriculture,
ma reconnaissance et ma fidélité.

A l'AFOCA, toute ma reconnaissance.

A mes amis, ma fidélité et mon dévouement.

A la Mission Française d'Aide Economique et Technique
au Cambodge,

ma reconnaissance.

A Monsieur E. ROBBE, Ancien Chef de la M.F.A.E.T.
au Cambodge,

toute ma reconnaissance et
ma gratitude.

A Monsieur POULLARD, Adjoint au Chef de la M.F.A.E.T.,

toute ma reconnaissance.

A mes Maîtres de la Faculté de Médecine et
des Hôpitaux de Paris ,

A mes Maîtres de l'Ecole de Médecine et
des Hôpitaux d'Amiens ,,

Monsieur le Professeur P. PARIS,

Monsieur le Professeur Agrégé J. DECAUDAVEINE,

Monsieur le Docteur J.P. DESSIRIER,

toute ma reconnaissance pour
l'enseignement qui m'a été dispensé
et pour la bienveillante sollicitude
qui m'a été accordée tout au long
de mes études.

I N T R O D U C T I O N.

C'est un problème important sur le plan théorique comme sur le plan pratique, de savoir quelle quantité de travail peut effectuer un muscle ou un groupe musculaire, pour une forme déterminée de contraction avant que n'apparaisse la fatigue locale de celui-ci. Les nombreuses études consacrées à cette question au cours des dix dernières années ont permis d'approfondir nos connaissances sur la physiologie musculaire et d'envisager certaines applications pratiques en Médecine du Travail.

La quantité de travail fournie par un muscle jusqu'à son épuisement, encore dénommée travail-limite (v. SCHERRER et coll., 1953) dépend du type de contraction qu'il effectue. Si on laisse de côté le cas du travail musculaire général pour ne considérer que celui du travail local, deux modes d'activité musculaire ont été particulièrement envisagés : le travail dynamique, défini comme le produit de la force par le déplacement de son point d'application; le travail statique continu qui est apprécié par le produit de la force par le temps de maintien de celle-ci. Ces deux formes de travail ont fait l'objet d'études récentes et les conditions d'apparition de la fatigue des muscles étudiés ont été précisées (v. SCHERRER et MONOD, 1960).

.....

Au cours du travail statique continu, la fatigue est précoce en raison de l'arrêt circulatoire plus ou moins important dans le muscle considéré. On pouvait se demander si, au cours du travail statique intermittent (contraction isométrique avec repos intercalaire), le muscle ne bénéficie pas alors d'un régime circulatoire local particulier lui permettant d'augmenter sa capacité de travail. C'est à cette question que nous avons essayé de répondre par une étude expérimentale.

Nous nous proposons de procéder d'abord à un rappel historique des travaux antérieurs qui ont été consacrés par différents auteurs au problème de la fatigue musculaire locale, puis de préciser notre technique expérimentale avant d'exposer nos résultats et de les discuter.

+ +

+

H I S T O R I Q U E

Notre étude sur le travail statique intermittent a été abordée en utilisant les notions de seuil d'épuisement, de temps-limite et de travail-limite qui ont été proposées par SCHERRER et coll. (1953, 1954 et 1955) pour le travail dynamique réalisé à puissance constante. Nous commencerons par rappeler quelles sont ces notions, étant donné leur importance dans la définition de conditions expérimentales valables pour toute étude du travail musculaire local et de la fatigue.

Le muscle actif atteint par définition un seuil d'épuisement local lorsqu'il ne peut plus effectuer un travail donné à la puissance initialement fixée. Ce seuil est atteint au bout d'un temps dénommé temps-limite, et la quantité de travail effectué pendant ce délai a été désignée sous le nom de travail-limite. La puissance est donc égale au quotient du travail-limite par le temps-limite.

Dans le cas initialement envisagé du travail dynamique, le travail-limite est défini par le produit de la charge déplacée par la longueur du déplacement total. Le seuil d'épuisement survient lorsque le muscle ne peut plus, soit soulever la charge imposée, soit réaliser le déplacement initial, soit enfin maintenir le rythme des contractions.

Dans le cas du travail statique continu étudié ultérieurement par MONOD (1956), le seuil d'épuisement survient lorsque la charge maintenue ne peut plus l'être au niveau initial. Le travail-limite est égal au produit de la force

.....

par le temps de maintien, c'est-à-dire le temps-limite, et la puissance ne peut être exprimée que sous forme de la charge maintenue.

Nous envisagerons donc pour ces deux types d'activité les résultats acquis récemment dans l'étude du travail musculaire local, en utilisant les critères et les définitions ci-dessus.

A) - CAPACITE DE TRAVAIL DYNAMIQUE.

Celle-ci est connue depuis la thèse de SAMSON (1953) où les résultats expérimentaux des recherches entreprises dans ce domaine ont été exposées, les conclusions ayant été développées et discutées par SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954).

Deux critiques majeures ont été faites par SAMSON aux travaux publiés par MOSSO et ses élèves à la fin du siècle dernier. En effet, l'utilisation classique de l'ergographe, telle qu'elle était pratiquée initialement, pêchait par deux côtés :

1) - Le travail effectué à l'ergographe comprend une phase de travail moteur et une phase de travail résistant. Il est effectivement difficile de dissocier ces deux formes d'activité dynamique (1), mais actuellement encore, on .....

(1) - BELCARD (1901) avait surmonté cette difficulté, lors d'une étude sur le biceps brachial, en faisant effectuer le travail moteur par un muscle et le travail résistant par le muscle du côté opposé grâce à un jeu de poulies bilement disposées. Le procédé sera repris et développé ultérieurement par CHAUVEAU (1904). Un dispositif original plus élégant a été décrit récemment par CHAIN (1960). Ce dispositif permet l'étude séparée du travail moteur actif et du travail résistant.

continue à les envisager ensemble. C'est seulement par approximation que l'on considère le travail résistant comme équivalent à un tiers du travail moteur. Cette équivalence est basée sur des considérations énergétiques (ASMUSSEN, 1953; ABBOTT et BIGLAND, 1953) et électromyographiques (v. SCHERRER, BOURGUIGNON et MARTY, 1957).

2) - L'ergographie à charge constante mais très élevée dès le départ de l'épreuve ne donne pas une fatigue vraie en raison des variations de puissance dues à la chute d'amplitude du mouvement. L'introduction dans le protocole des mesures de fatigue musculaire d'épreuve de travail dynamique à charge constante est donc une innovation capitale.

SAMSON utilise pour le travail dynamique des charges modérées, de sorte que l'amplitude du mouvement sera conservée un certain temps. Lorsqu'elle ne l'est plus, se trouve atteint ce qu'il nomme le seuil de fatigue, dénomination qui sera remplacée ultérieurement par celle de seuil d'épuisement local.

L'intérêt des investigations de SAMSON (1953) vient encore du fait qu'elles ont porté sur un nombre élevé de sujets normaux (d'où leur valeur biométrique) et pathologiques (applicatin à l'exploration fonctionnelle), et que différents groupes musculaires ont été envisagés. Une remarque méthodologique importante est à retenir : n'utiliser qu'un seul muscle ou groupe musculaire synergique afin d'éviter les contractions de fixation d'une articulation intermédiaire. Les principaux résultats obtenus dans cette étude peuvent être ainsi résumés :

1) - Il existe une relative fixité du seuil de fatigue ce qui valide l'ergographie à puissance constante.

2) - Le travail-limite effectué à fréquence donnée dépend de la charge, la courbe représentant la liaison entre ces deux variables étant hyperbolique.

.....

3) - Le travail-limite réalisé avec une charge donnée dépend de la fréquence des contractions, la relation entre ces deux éléments étant, quoique différente du cas précédent, encore de type hyperbolique (v. fig. 1).

4 - Le travail-limite diminue si l'amplitude du mouvement est elle-même moindre.

5) - Ces lois générales ont été vérifiées chez différents types de sujets (étudiant, travailleur manuel, longiligne et bréviligne) et pour différents muscles (biceps, triceps, quadriceps, ischio-jambiers, muscles du pied et du poignet).

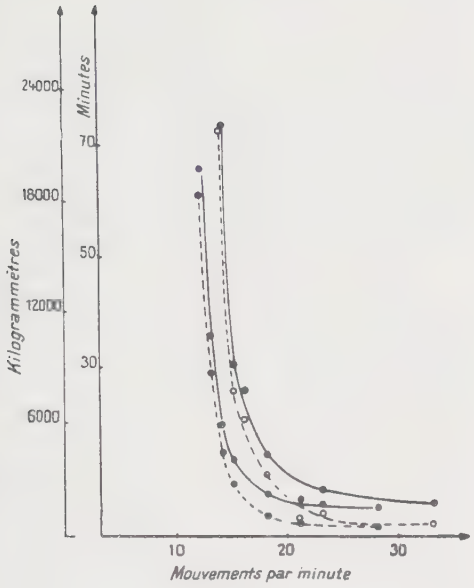
6) - Le travail sous garrot est indépendant de la charge.
"Le muscle privé de sa vascularisation n'est plus capable que d'un travail fixe quelle que soit la charge soulevée " (SAMSON, 1954).

Ces résultats ont été repris ultérieurement et analysés avec plus de détails (SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE, 1954).

Il existe une analogie manifeste entre les courbes du travail-limite, mais aussi du temps-limite, en fonction de la fréquence de contraction ou de la force mise en jeu. Travail-limite et temps-limite apparaissent ainsi comme étant des fonctions inverses de la puissance imposée au cours d'une épreuve.

Si on considère les variations du travail-limite en fonction de la charge et de la fréquence au cours d'un ensemble d'épreuve à même puissance, on constate que les variations de fréquence et les variations en sens inverse de la charge ne se compensent pas. Le travail-limite dépend en effet encore de la charge. La raison en est que l'épuisement du muscle n'est pas le même pour des charges variées. L'introduction d'un travail complémentaire permettant de compléter l'épuisement pour une charge identique dans tous les cas lève cette objection. Une difficulté identique survient au

.....



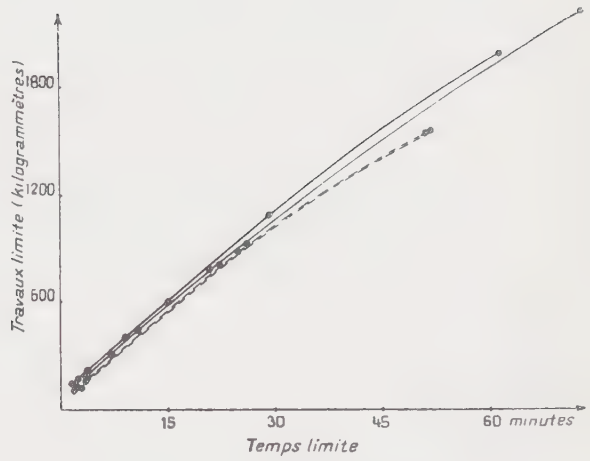


Fig. 1 Temps-limite et travail-limite en fonction de la puissance.

Résultats obtenus sur le triceps brachial chez 2 sujets ; temps-limite (---) et travail limite (———). La charge est constante (6 kg), les variations de puissance sont obtenues par variation de la fréquence des contractions (d'après SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE, 1954).

Fig. 2 Travail-limite en fonction du temps-limite.

Résultats obtenus sur le triceps brachial. Deux charges ont été utilisées : 6 kg. (———) et 10 kg (---). Les variations de puissance ont été réalisées par variation de la fréquence des contractions. La pente des droites représentées correspond à la puissance critique (d'après SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE, 1954).

cours de la contraction isométrique, lorsqu'il s'agit de comparer l'épuisement musculaire pour des charges variées.

L'étude des variations réciproques du travail-limite en fonction du temps-limite permet de répondre dans le cas du travail dynamique, à la question suivante : quelle quantité de travail un muscle peut-il réaliser avant d'être épuisé.

En effet, SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954) ont montré que travail-limite et temps-limite varient de façon linéaire (v. fig. 2), l'équation de la droite étant :

$$T_{lim} = \underline{a} + \underline{b}\, t_{lim}$$

Pour ces auteurs le facteur a, valeur de l'ordonnée à l'origine de cette droite, représenterait la réserve énergétique du muscle. Comme l'a montré SAMSON (1953), à l'occasion d'épreuves répétitives, cette réserve serait relativement lente à être utilisée comme à être reconstituée. Le facteur b correspondrait à une énergie d'origine circulatoire rapidement disponible et reconstituée. C'est la disparition de ce facteur qui, dans le travail sous garrot expliquerait la constance du travail-limite pour des charges variées. Dans le cas du triceps, les valeurs de 90 kgm et 33 kgm/mn ont été respectivement mises en évidence pour a et b. On remarque que le premier facteur a les dimensions d'un travail, le second, celui d'une puissance.

En considérant que le travail-limite n'est autre que le produit de la puissance moyenne par le temps, la relation ci-dessus a été présentée sous une autre forme :

$$t_{lim} = \frac{\underline{a}}{\underline{p} - \underline{b}}$$

Cette nouvelle équation a pour avantage de faire ressortir que le temps-limite dépend d'une part du rapport entre la puissance (p) et l'énergie d'origine circulatoire ou taux de reconstitution (b) qui prend la dimension

.....

d'une puissance et d'autre part du rapport de ces deux éléments et du facteur de réserve énergétique (a). Il apparaît notamment que des variations très faibles du facteur b sont capables d'augmenter sensiblement le temps limite et le travail-limite. C'est reconnaître l'importance considérable du facteur circulatoire.

"L'existence d'une phase de repos, si brève soit-elle, augmente donc considérablement les possibilités de travail" (SAMSON, 1953). Inversement on comprend que l'allongement de la durée de la contraction à la fin d'un travail dynamique avec épuisement précipite l'apparition de celui-ci.

C'est à partir de ces équations qu'a été décrite la puissance critique d'un travail dynamique local (v. SCHERRER et MONOD, 1960).

Lorsque la puissance du travail imposé est inférieure ou égale au facteur b le travail peut être poursuivi pendant un temps prolongé. Si le muscle est appelé à travailler à une puissance supérieure à b, il atteindra le seuil d'épuisement lorsqu'il aura utilisé toute sa réserve énergétique a. La puissance critique est donc égale à la valeur de b. La formulation mathématique de la puissance critique est importante car elle explique la capacité de travail d'un muscle donné. Elle renseigne sur la puissance de travail maximale que peuvent soutenir en régime constant différents groupes musculaires. Elle montre aussi que les différences inter-individuelles vont pour la puissance critique du simple au double pour les sujets normaux. Elle permet de suivre les performances à l'entraînement et surtout elle offre un moyen d'apprécier la fatigue musculaire.

Les auteurs cités ci-dessus mettent d'autre part l'accent sur la similitude des facteurs d'épuisement et des courbes de capacité de travail dans le cas du travail dynamique local et dans celui du travail général, en se référant notamment aux publications de HILL, de GROSSE-LORDEMANN et de MULLER.

.....

B) - CAPACITE DE TRAVAIL STATIQUE.

C'est HEIDENHAIN qui proposa la premier l'expression de "travail statique"(1). Mais ce n'est qu'avec CHAUVEAU et son élève TISSOT que les premières recherches expérimentales sur ce sujet sont envisagées. Toutefois, malgré les résultats obtenus par ces auteurs, elles n'ont qu'une valeur modérée au point de vue pratique, comme c'est le cas des études de MOSSO et de son école pour le travail dynamique.

La capacité de travail statique est abordée sous un angle nouveau par les études de MONOD (1956), MONOD et SCHERRER (1957) et SCHERRER, BOURGUIGNON et MONOD (1960).

L'intérêt de l'étude de MONOD (1956) réside d'abord dans le fait qu'elle porte sur un groupe suffisant de 30 sujets, âgés pour la plupart de 21 ans. Ensuite, quatre groupes musculaires différents ont été envisagés au cours de ce travail expérimental. Il s'agit des fléchisseurs du médius droit, de l'ensemble des fléchisseurs des doigts de la main droite, des fléchisseurs de l'avant-bras droit sur le bras, des extenseurs de la jambe droite et gauche simultanément actifs.

Pour ces différents muscles le travail a consisté à maintenir une charge donnée à un niveau donné jusqu'au moment où le seuil d'épuisement local est atteint.

De cette étude, il ressort qu'il existe une relation simple entre la charge et le temps-limite. Quand la charge est élevée, elle ne peut être maintenue que pendant un temps très court de l'ordre de quelques secondes, et il s'agit donc de la charge maximale que peut soutenir le muscle. Inversement, des charges très petites peuvent être maintenues pendant un temps très long. Pour chaque charge, il existe une valeur assez peu variable du temps-limite.

.....

---

(1) CHAUVEAU (1907) l'attribue au Rev. S. HAUGTON.

Si les résultats obtenus sont portés sur deux axes de coordonnées rectangulaires, les points expérimentaux se disposent suivant une courbe d'allure hyperbolique (fig.3). C'est ce qu'avaient déjà rapporté plusieurs auteurs : DOLGIN et LEHMANN (1929), WACHHOLDER (1930), MULLER (1932), ou du moins c'est ce qui ressort de leurs résultats si on les présente sous forme graphique.

Une formulation mathématique a été proposée pour rendre compte de la relation entre la charge et le temps-limite. Portées en coordonnées bilogarithmiques, les points expérimentaux se disposent autour d'une droite dont l'équation, calculée par la méthode des moindres carrés est de la forme :

$$\log t_{lim} = -\underline{n} \log C + \log K \qquad (1)$$

formule qui peut également s'écrire :

$$t_{lim} = \frac{K}{C^{\underline{n}}} \qquad (2)$$

Dans ces deux formules, t_{lim} est le temps-limite en secondes; K, une constante qui varie avec le groupe musculaire actif; C, la charge exprimée en kg; et n, un exposant qui définit les variations du temps-limite en fonction de la charge. Sa valeur est voisine de 2. A Les valeurs suivantes de n ont été précisées : [illegible] pour les fléchisseurs de l'avant-bras, 2,8 pour ceux du médius, 2,3 pour les quadriceps, et 1,5 pour les fléchisseurs des doigts qui constituent un cas particulier, étant donné le caractère différent de l'épreuve réalisée à l'appareil de Ch. HENRY et non à l'ergographe de type MOSSO.

Cette valeur de l'exposant $\underline{n}$ a été par la suite précisée pour le triceps (MONOD et SCHERRER, 1957); elle serait de 2,1 tombant à 1,5 pour le travail en ischémie réalisé par le même muscle. Le fait que l'exposant $\underline{n}$ est généralement supérieur à 2 semble indiquer, selon toute vraisemblance, que la répercussion d'un accroissement de la charge lors d'un travail statique continu se fait à deux niveaux différents : sur la fibre contractile qu'elle épuise plus précocement et sur l'irrigation sanguine locale qu'elle limite d'une façon plus marquée.

.../...

Le déficit circulatoire observé dans la contraction isométrique continue a fait l'objet d'un certain nombre de travaux, notamment de GRANT (1938), de BARCROFT et MILLEN (1939). Ces derniers auteurs ont vu que le débit dans le muscle est nul au cours des contractions à charge élevée. Les conditions circulatoires du travail dynamique sont donc plus favorables que celles du travail statique continu, et l'on comprend que l'exposant n puisse avoir dans le cas d'un travail dynamique la valeur de 1 (SCHERRER et PALEOLOGUE, 1954).

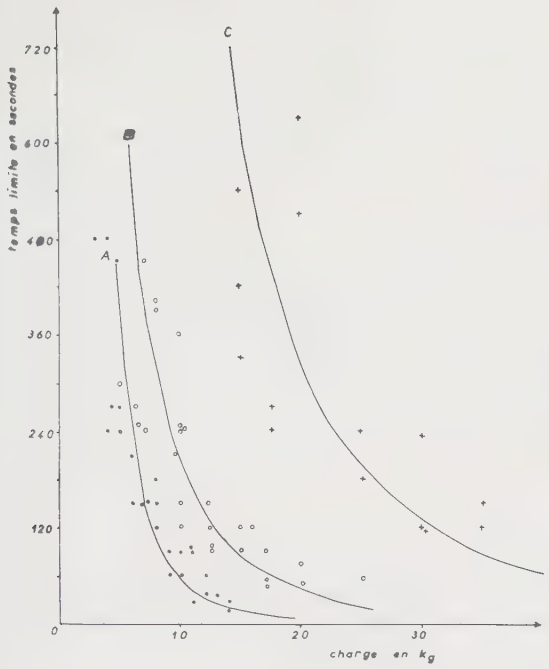
Dans une note ultérieure (MONOD et SCHERRER, 1957) l'équation (2) rappelée ci-dessus a été présentée sous une autre forme. Si, au lieu de considérer la charge maintenue en valeur absolue, comme dans la formule précédente, on rapporte la force développée à la force maximale du muscle considéré (C/F_{max}) mesurée dans les mêmes conditions expérimentales, on constate que les points expérimentaux obtenus pour les différents groupes musculaires étudiés, se disposent alors de façon homogène autour d'une même courbe (v. fig. 4). Ceci permet de considérer l'ensemble des épreuves comme constituant un échantillon unique sur lequel la méthode de calcul précédente peut être appliquée. La formule devient alors :

$$t = \frac{K'}{(C/F_{max})^{2,42}} \qquad (3)$$

La valeur K'dans ce cas est de 11,32. Cette dernière équation devient générale et peut être supposée valable pour différents muscles et pour des sujets d'âge et de sexe différents, si la force maximale des muscles est connue.

Cette équation a le mérite de mieux préciser le rapport entre le temps-limite et la charge. Elle permet sur le plan pratique de prévoir la durée d'une épreuve de travail statique connaissant la force maximale du muscle et la charge à maintenir, ou inversement, de calculer la force maximale d'un muscle connaissant les deux autres paramètres.

.....



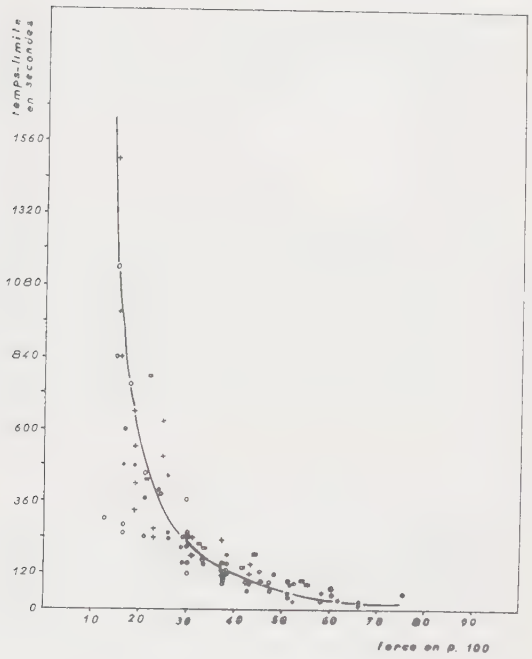


Fig. 3 Temps-limite en fonction de la force de contraction isométrique.

La force est exprimée en kilogramme. Résultats pour trois groupes musculaires. A : Fléchisseurs du medius droit ; B : Fléchisseurs de l'avant-bras droit ; C : quadriceps droit et gauche (d'après MONOD, non publié).

Fig. 4 Temps-limite en fonction de la force de contraction isométrique

La force ci-dessus a été établie pour quatre muscles différents : fléchisseurs de l'avant-bras (o), fléchisseurs du médius (•), quadriceps (+) et triceps (■). La force est exprimée en p 100 de la force maximale. On remarque l'allongement considérable du temps-limite lorsque la force utilisée est inférieure à 20 p 100 de la force maximale du muscle (d'après SCHERRER et MONOD, 1957).

L'examen de la courbe représentative de la formule (3) permet de mettre en évidence les points essentiels suivants, qui ont été indiqués par SCHERRER, BOURGUIGNON et MONOD (1960) :

1°) - A charges très élevées avec arrêt de la circulation sanguine (cas assimilables ici aux mesures sous garrot), c'est-à-dire aux charges supérieures à 50 p.100 de la force maximale, l'épuisement survient en moins d'une minute en moyenne. La fatigue est strictement locale et elle semble donc devoir être rapportée en premier lieu à un épuisement de la fibre musculaire.

2°) - Lorsque la force mise en jeu est comprise entre 30 et 50 p.100 de la force maximale, l'épuisement est un peu plus tardif. La fatigue commence vers le milieu de l'épreuve par une gêne douloureuse qui apparaît et qui augmente avec sensation de fatigue locale. Cette douleur est le plus souvent supportée et l'épreuve peut être poursuivie pendant encore plusieurs minutes; les phénomènes douloureux s'estompent. Cette deuxième phase peut être légèrement prolongée en cas de motivation particulière mais l'épuisement survient de toute façon au bout d'un temps plus ou moins long.

3°) - Dans le cas ou la force mise en jeu est inférieure à 30 p.100 et supérieure à 15 p.100 de la force maximale, le facteur subjectif joue le rôle principal. Une preuve en est la grande dispersion des points expérimentaux dans cette partie de la courbe. La contraction statique n'est à aucun moment douloureuse et le caractère désagréable de l'épreuve déterminant la cessation de celle-ci doit être attribué à sa monotonie, à la perte de la notion de temps et peut-être à l'immobilité du segment de membre. L'introduction d'un facteur de motivation positif permet d'obtenir un allongement des temps-limite pour les épreuves réalisées à charges modérées.

4°) - Au-dessous de 15 p.100 de la force maximale, le travail peut être poursuivi pendant un temps très long. Ce seuil de 15 p.100 de la force maximale prend la valeur d'une puissance critique, comparable au facteur b du travail dynamique (v. SCHERRER et MONOD, 1960) puisqu'il correspond également à des conditions circulatoires suffisantes.

.....

Les recherches ultérieures de ROHMERT (1960) ont confirmé, d'une part, les résultats de MONOD et SCHERRER (1957). La courbe de ROHMERT, bien que d'équation beaucoup plus complexe, rendant compte de la relation entre la charge et le temps-limite, se superpose de façon très satisfaisante à celle donnée précédemment. Seule en diffère la portion de courbe correspondant à des forces très modérées, ce qui fait supposer une motivation différente des sujets dans ces deux investigations (v. fig.16).

Elles ont conduit d'autre part à la notion de temps de repos compensateur, temps qui doit être attribué lorsqu'un travail professionnel comporte de façon régulière des contractions statiques continues. Ce temps de repos (x), nécessaire à la récupération, dépend de la force utilisée et du temps de maintien; exprimée en p.100 du temps de travail, il est une fonction exponentielle de $\frac{t}{T}$ et de $\frac{k}{K}$, donnée par la formule suivante :

$$x_{(p.100)} = 18\left(\frac{t}{T}\right)^{1,4} \cdot \left(\frac{k}{K} - 0,15\right)^{0,5} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\text{si} \quad \frac{k}{K} \geq 0,15$$

Dans cette formule, t est le temps de travail statique; T, le temps maximal de maintien pour les mêmes muscles (c'est-à-dire le temps-limite); K, la force maximale que peuvent exercer les mêmes muscles; et k, la force exercée pendant le travail statique considéré.

La relation ci-dessus reste indépendante de l'âge et du sexe des sujets, de la nature des muscles mis en jeu, de la force musculaire maximale.

.....

C) - SIGNES OBJECTIVANT LE SEUIL D'EPUISEMENT.

Pour objectiver la fatigue musculaire ou plus précisément le seuil d'épuisement local, on peut avoir recours à la dynamographie et à l'électromyographie sur le plan local, et à l'étude de la fréquence cardiaque ou de la pression artérielle sur le plan général.

1°) - Dynamographie.

Une étude a été faite sur la variation de la force au cours d'un travail musculaire avec épuisement par SCHERRER et SAMSON (1955), BOURGUIGNON, MARTY et SCHERRER (1959). Ces auteurs envisagent les aspects dynamographiques de la fatigue et le mécanisme des modifications dynamographiques au cours de ce phénomène. Ils concluent notamment que :

a) - Dans le cas du travail dynamique, la proximité du seuil d'épuisement détermine un allongement de la durée du mouvement déjà signalé par SCHERRER et coll. (1954). Cet allongement a pour conséquence de faire apparaître une composante statique dans le travail dynamique et de raccourcir la phase d'irrigation libre du muscle. Ces deux phénomènes accélèrent l'épuisement musculaire.

b) - La diminution de la force maximale du groupe musculaire actif s'effectue de façon progressive mais non régulière durant tout le travail abrutissant à l'épuisement. Les modifications de la force maximale expliquent les variations du mouvement au cours du travail dynamique.

c) - L'étude de la force maximale isométrique répétée en dehors de tout travail proprement dit peut, en réalité, être considéré comme une étude de la force au cours d'un travail statique intermittent effectué à force décroissante à partir du moment où la fréquence des contractions est suffisamment élevée. La chute de la force semble dépendre du nombre des contractions effectuées et non pas de la fréquence même des contractions. En effet

cette chute est de l'ordre de 60 p.100 de la force maximale initiale au bout de cinq minutes lorsque la fréquence de contraction est de 6 par minute, soit après 30 contractions, et au bout de trente minutes lorsque la fréquence des contractions est de 1 par minute, soit encore après 30 contractions (v. SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE, 1954).

Cependant, au point de vue pratique, il apparaît que la mesure de la force ne peut servir à apprécier de façon satisfaisante la fatigue musculaire. Il n'en reste pas moins que le seuil d'épuisement est caractérisé par une chute de cette force.

2°) - Electromyographie.

L'étude de l'activité électrique au cours de la contraction aboutissant à l'épuisement a été abordée notamment par KAYSER (1948), MONOD (1956), SCHERRER et coll. (1956), SCHERRER, LEFEBVRE et BOURGUIGNON (1957). On trouve dans le rapport de SCHERRER et MONOD (1960) une revue récente sur ce sujet. Ces études portent aussi bien sur la contraction statique que sur la contraction dynamique et les variations enregistrées concernent l'électromyographie globale intégrée ou non.

Parmi les points à retenir, nous notons les suivants :

a) - Au cours d'un travail dynamique intense, la fatigue se manifeste par un ralentissement du rythme de PIPER. L'amplitude des phénomènes électriques varie en général dans le sens d'une augmentation de celle-ci. Ceci est particulièrement net au cours du travail dynamique lorsque les tracés électromyographiques se rapportent à des épreuves à puissance constante.

L'intégration des tracés électromyographiques permet de juger de façon plus quantitative les variations de l'activité électrique. Pour un même travail extérieur, l'activité électrique intégrée augmente avec la fatigue. Une diminution secondaire de l'activité électrique intégrée peut survenir après l'augmentation initiale (v. SCHERRER et BOURGUIGNON, 1959).

b) - Au cours de la contraction statique continue, l'augmentation de l'activité électrique apparaît surtout dans le dernier tiers de la phase de contraction. Si l'augmentation de l'activité électrique est également la règle dans ce type de contraction, une diminution de l'activité électrique avec la fatigue a pu être vue dans un certain nombre de cas par rapport au niveau initial. La proximité du seuil d'épuisement se manifeste par des bouffées d'activité électrique décrites notamment par KAYSER (1948) et que cet auteur attribue aux tremblements du segment de membre qui s'intensifient en fin d'épreuve. Une synchronisation plus poussée semble également la règle et a été notée par MONOD (1956) et décrite sous le nom de "grands potentiels musculaires détachés".

3°) - Fréquence cardiaque et pression artérielle.

a) - L'augmentation de la fréquence cardiaque au cours de la contraction dynamique locale a été décrite par différents auteurs. On admet généralement que ces variations comportent une première phase d'accélération cardiaque rapide d'origine réflexe décrite par DEJOURS sous le nom d'accrochage cardiaque (v. HEGER, 1958). Dans une deuxième phase, la fréquence cardiaque se maintient en plateau; c'est seulement lors de l'approche de l'épuisement que l'on peut observer une élévation terminale de la fréquence cardiaque. Il semble cependant que les augmentations ainsi constatées restent relativement discrètes (v. SCHERRER et MONOD, 1960).

b) - Il n'en est pas de même au cours de la contraction statique continue. L'élévation de la fréquence cardiaque s'effectue de façon progressive depuis le début de l'épreuve jusqu'à la survenue du seuil d'épuisement. La valeur maximale de la fréquence cardiaque lors du seuil d'épuisement est relativement plus forte dans les épreuves statiques effectuées avec une charge forte ou modérée. Elle est plus discrète si la charge est faible. Si l'on compare différents groupes musculaires, il apparaît que les variations de la fréquence cardiaque sont plus directement liées à la durée de l'épreuve, c'est-à-dire au temps-limite, qu'au groupe musculaire envisagé. L'accélération cardiaque caractérise donc de façon très objective le seuil d'épuisement local et peut être considéré dans ce type de contraction comme un critère de fatigue (MONOD, 1956).

c) - Les variations de la pression artérielle au cours de la fatigue musculaire locale sont généralement représentées par des courbes dont le parallélisme avec les courbes de variation de la fréquence cardiaque est particulièrement frappant.

D) - TRAVAIL STATIQUE INTERMITTENT.

La contraction statique intermittente permet de réaliser une forme de travail musculaire très particulière puisqu'elle consiste en une suite de contractions isométriques entrecoupées de phases de repos pendant lesquelles la circulation musculaire est libre. Par là même, la contraction statique intermittente s'apparente au travail statique continu et au travail dynamique.

Cette forme de contraction a préoccupé de nombreux physiologistes depuis une centaine d'années. BECLARD(1861), utilisant une technique simple, réalise des contractions statiques intermittentes dans le but de comparer les augmentations de températures du biceps pour ce type de contraction et pour la contraction dynamique. L'analyse de ces travaux a été donnée notamment par TAPIE (1886) dans sa thèse présentée au concours de l'agrégation intitulée "Travail et Chaleur musculaires".

La mesure du coût énergétique de la contraction isométrique intermittente a fait l'objet des travaux classiques de CHAUVEAU et TISSOT (1890). Envisageant, grâce à un dispositif expérimental particulier, la contraction statique alternative des fléchisseurs et des extenseurs de l'avant-bras, CHAUVEAU précise que la dépense énergétique dépend de trois facteurs principaux : la valeur de la charge maintenue, la durée des phases de contractions et le nombre des mises en tension de l'un et l'autre groupe musculaire. Ces éléments ont été repris par CHAUVEAU (1904) dans une publication qui l'amène à tirer des conclusions pratiques au point de vue de l'économie sociale et de l'hygiène.

La même question a été reprise ultérieurement par BEDFORD et coll. (1933) qui envisagent des contractions isométriques intermittentes à force relativement élevée.

Les résultats obtenus par ces auteurs sont difficilement interprétables car les groupes musculaires utilisés par eux sont mal définis. Cette critique a été notamment formulée par LAVILLE (1961) qui a repris l'étude de ce problème en envisageant des contractions avec des forces moindres, pour des groupes musculaires bien définis et de fonctions différentes. Il a été précisé que la consommation de l'oxygène pour un même travail extérieur était ~~moindre~~ plus élevée lorsque celui-ci a été effectué avec les muscles fléchisseurs de l'avant-bras qu'avec les muscles du mollet (LAVILLE et coll., 1962).

Si quelques points capitaux concernant la contraction statique intermittente ont été établis comme il apparait dans cette brève analyse, un aspect du problème ne semble pas avoir été envisagé jusqu'à ce jour, c'est celui de la capacité de travail au cours de la contraction isométrique intermittente.

METHODE D ' ETUDE ET TECHNIQUE

Notre étude porte sur les conditions et les modalités d'apparition de la fatigue musculaire dans le cas d'un travail statique intermittent. Nous reprenons dans notre expérimentation les critères de temps-limite et de travail-limite utilisés pour l'étude du travail dynamique local par SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954) et pour celle du travail statique continu par MONOD (1956). Ces critères sont analysés au chapitre précédent.

Le muscle choisi est le biceps brachial, dénomination adoptée pour l'ensemble des fléchisseurs de l'avant-bras sur le bras. Ce choix s'explique d'une part par la grande commodité expérimentale d'étude de ce groupe musculaire, et d'autre part par la nécessité de comparer nos résultats avec ceux de MONOD, qui dans son étude du travail statique continu avait envisagé, entre autre, ce même groupe musculaire.

Au cours de notre expérimentation, nous avons adjoint à l'étude du temps-limite et du travail-limite, celle de l'électromyographie du groupe musculaire actif et celle de la fréquence cardiaque qui permettent de caractériser, à la fois sur le plan local et sur le plan général, la fatigue du type de travail musculaire envisagé.

.....

A) - MOYENS TECHNIQUES.

Ils comportent d'une part un appareillage permettant de réaliser des contractions isométriques et, d'autre part, des appareils d'enregistrement du mécanogramme, de l'électrocardiogramme, de l'électromyogramme et de l'électromyogramme intégré.

1) - Appareillage mécanique permettant d'effectuer le travail statique intermittent.

Le dispositif (fig. 5) est celui utilisé précédemment par LAVILLE (1961) à l'occasion d'une étude consacrée au coût énergétique de la contraction statique intermittente. Nous en rappelons ci-dessous la description et le principe de fonctionnement.

Ce dispositif est constitué d'un plateau rectangulaire (1) mobile autour d'un axe horizontal attenant à l'un de ses petits côtés (2). Un moteur synchrone (3) entraîne un arbre à came (4) qui mobilise le plateau entre deux positions extrêmes : en position haute (A), le plateau est horizontal; il s'abaisse progressivement pour occuper une position basse (B) d'où il regagne ensuite la position initiale (A).

La forme de la came fixe le rapport des durées pendant lesquelles le plateau occupe chacune des deux positions. Dans notre cas, un rapport de 50 p.100 a été choisi. Entre le moteur et l'arbre à came, un système d'engrenage (5) est interposé. En modifiant le rapport des pignons, on peut faire varier la vitesse de rotation de la came. Nous avons utilisé deux vitesses de rotation : 2,5 et 10 tours par minute. Ces conditions particulières avaient déjà été retenues par LAVILLE (1961).

L'avant-bras maintenu par la contraction du biceps est relié par l'intermédiaire d'une chaînette à un bras de

.....

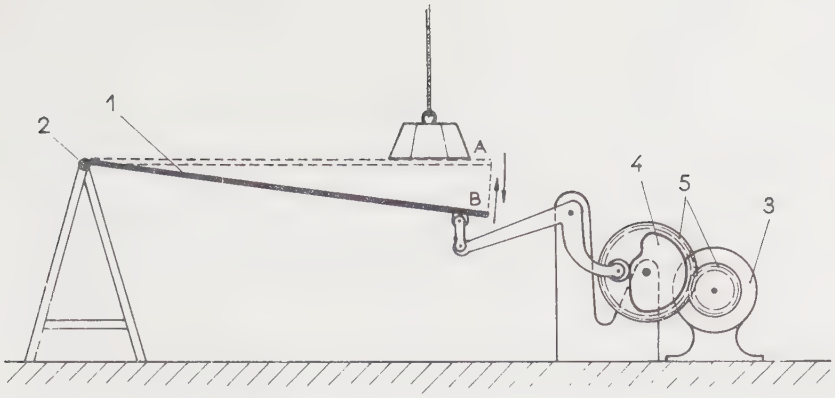


Fig. 5 Schéma du dispositif mécanique utilisé

Un plateau rigide, rectangulaire (1) est mobilisé autour d'un axe horizontal attenant à l'un de ses petits côtés (2) par un arbre à came (4) ; celui-ci est entraîné par l'intermédiaire d'un engrenage (5) par un moteur synchrone (3). Le déplacement du plateau se fait à intervalle régulier, fixé par la forme de la came et le rapport de l'engrenage, entre deux positions : la position haute (A) correspond à la période de travail, le sujet maintenant la charge au niveau de la position haute.

levier, lui-même en connection avec une charge posée sur le plateau :

- lorsque le plateau occupe la position haute, le biceps ne doit effectuer aucun travail et ceci correspond à la période de repos.

- lorsque le plateau s'abaisse, le muscle doit se contracter pour éviter son allongement sous l'effet de la force extérieure qui lui est appliquée

- lorsque le plateau remonte, il revient au contact de la charge, et libère le groupe musculaire de la tension qui lui était imposée.
Un signal auditif précède de 0,1 seconde environ l'abaissement et le relèvement du plateau avertissant le sujet du début et de la fin de la période de travail.

2) - Appareils d'enregistrement.

Nous avons utilisé deux praxigraphes "ALVAR", appareils électromagnétiques à plume comportant quatre étages d'amplification, et de deux pistes chacun. L'un des appareils enregistre l'électromyogramme et l'intégration de celui-ci, l'autre un tracé électrocardiographique et un tracé mécanographique (v. fig. 6 et 7).

a) - Les potentiels électriques du biceps en activité sont explorés par deux électrodes de surface : celles-ci sont appliquées sur la peau dégraissée au préalable par l'éther et enduite de pâte conductrice. Elles sont ensuite collées sur la peau en regard du corps musculaire du biceps à l'aide de collodion.

b) - Un intégrateur construit suivant le principe de BATES et COOPER (1954) est branché à la sortie de la première chaîne après deux étages d'amplification et rentre sur la deuxième chaîne. Nous obtenons ainsi un enregistrement de l'activité musculaire intégrée, objectivant de façon quantitative l'augmentation éventuelle de l'activité électrique du muscle au cours des phases successives de contraction.

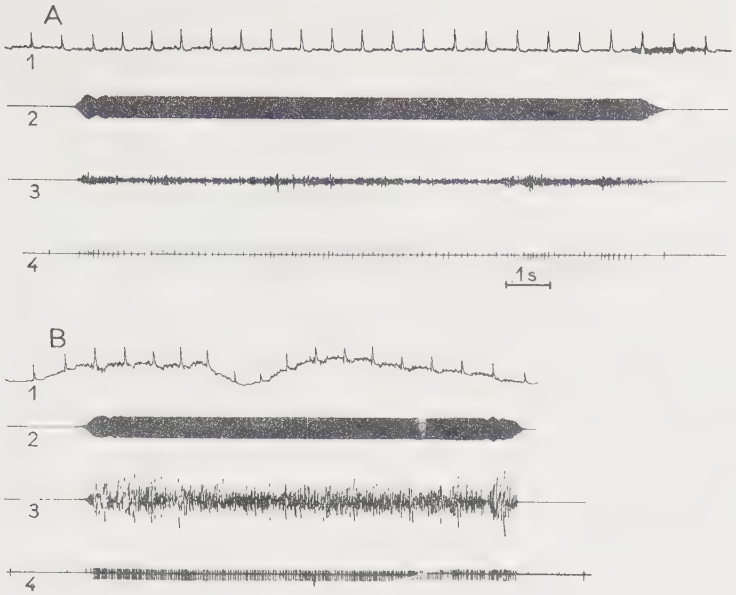


Fig. 6 Contractions statiques intermittentes à la fréquence de 2,5/mn.

Enregistrement obtenu : A - lors de la première contraction ; B - lors de la dernière contraction interrompue par la survenue du seuil d'épuisement. On remarque dans ce dernier cas l'augmentation très importante de l'activité électrique et la diffusion des contractions venant perturber le tracé électrocardiographique

Pour chaque tracé on trouve de haut en bas : 1 - Electrocardiogramme ; 2 - Mécanogramme ; 3 - Electromyogramme ; 4 Electromyogramme intégré.

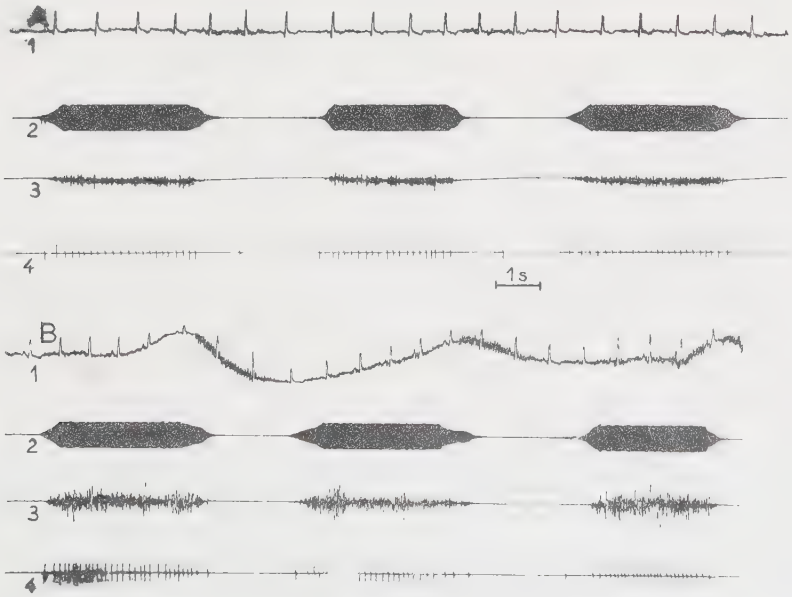


Fig. 7 Contractions statiques intermittentes à la fréquence 10/mn.

Même légende et même remarque que pour la figure précédente.

c) - La fréquence cardiaque est enregistrée par l'électrocardiographie en dérivation D_3 (pied gauche, main gauche), dérivation laissant libre le membre supérieur droit qui effectue le travail; le sujet est relié à la terre par le membre inférieur droit. Le dépouillement du tracé est effectué par comptage des complexes rapides en tenant compte de la vitesse de déroulement de la bande d'enregistrement.

d) - Le contrôle de la force de traction exercée sur la chaînette est réalisée par une jauge de contrainte montée en série sur celle-ci. Cette jauge permet d'obtenir un tracé mécanographique, matérialisant le travail statique intermittent. Ce mécanogramme est nécessaire pour déterminer les durées respectives des phases de contraction et des phases de repos qui, selon les sujets, s'écartent plus ou moins des 50 p.100 imposés. Le mécanogramme permet donc d'objectiver les "quantités de mouvements" effectuées, ce qui permet la comparaison entre des contractions de force ou de durée différente. Il permet donc la mesure précise de la durée du travail ou temps-limite, et du temps réel de contraction, c'est-à-dire du travail-limite, qui est égal au produit de la durée cumulée des contractions successives par la force exercée.

B) - PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

Soixante quinze mesures ont été effectuées au cours de contractions statiques intermittentes du biceps brachial droit, par trois sujets de sexe masculin, âgés de 26 à 37 ans, bien entraînés à ce genre d'exercice. La détermination de la force maximum de chaque sujet a été au préalable réalisée, de façon à guider le choix des forces à utiliser pour l'expérimentation et à pouvoir rapporter celle-ci à la force maximale.

Pour l'expérimentation, le sujet est assis, le bras dans un plan parasagittal à 30° par rapport à l'axe vertical du corps, l'avant-bras en pro-supination et à

.....

30° par rapport au bras. Le coude repose sur un support de faible dimension tel qu'il ne puisse comprimer la face postérieure du bras (fig. 3). Une butée antérieure contre laquelle s'appuie le coude permet au sujet de réaliser entièrement le travail avec le biceps sans qu'il ait à fixer le coude par une contraction des muscles de l'épaule.

Une chaînette est fixée, à l'une de ses extrémités, au poignet du sujet par l'intermédiaire d'un bracelet en cuir non traumatisant. Ce bracelet est maintenu fixe sur le poignet par une bandelette passant entre le pouce et l'index, de manière que la traction sur l'avant-bras se fasse toujours au même niveau. La chaînette a été préférée au câble utilisé par LAVILLE, car elle a l'avantage sur le câble de ne pas avoir d'élasticité et d'assurer ainsi une meilleure transmission de la force de traction. Elle est fixée par l'autre extrêmité à un bras de levier dont le rôle est d'amplifier la valeur de la charge réellement placée sur le plateau.

Deux fréquences de contraction ont été étudiées, le rapport des durées des phases d'activité et de repos étant égal à 50 p. 100 (fig. 6 et 7).

- soit 2,5 / mn : un cycle complet dure 24 secondes se répartissant en 12 secondes de travail et 12 secondes de repos

- soit 10/mn : un cycle complet dure 6 secondes avec 3 secondes de travail et 3 secondes de repos.

Les charges ont été choisies de façon à être réparties à peu près également entre la force maximale et la charge minimale pour laquelle la contraction pourrait théoriquement être poursuivie sans fatigue pendant un temps très long.

.....

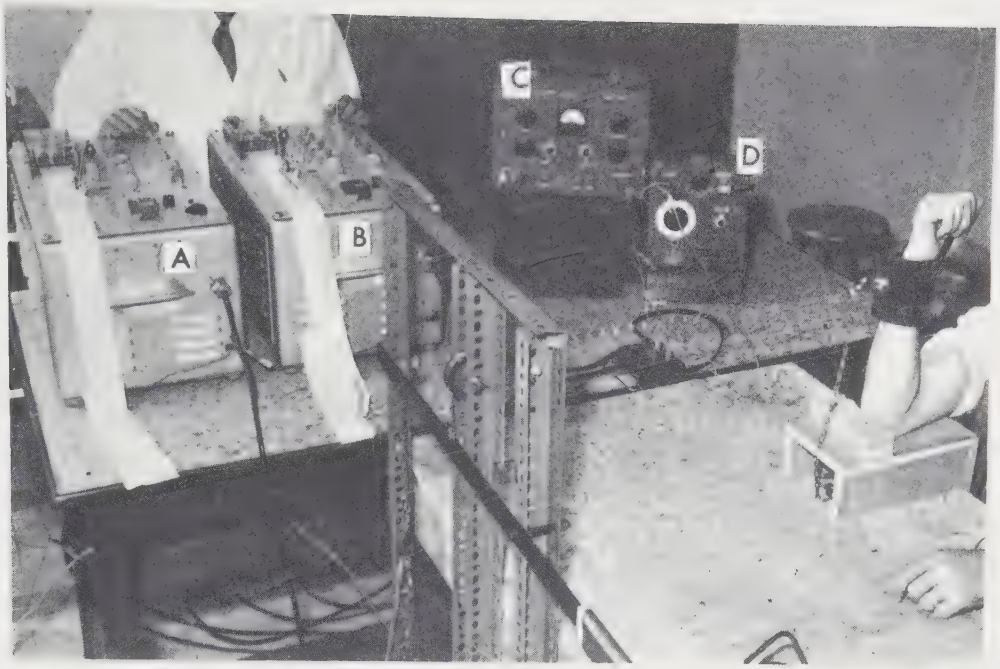


Fig. 8 - Dispositif experimental et appareillage utilisé

A) - Inscripteur pour l'électromyogramme et pour l'électromyogramme intégré.

B) - Inscripteur pour l'électrocardiogramme et le mécanogramme

C) - Intégrateur

D) - Réglage de la jauge.

Par ailleurs, afin de pouvoir comparer plus facilement nos résultats avec ceux de MONOD, 13 mesures de capacité de travail statique continu ont été pratiquées chez les mêmes sujets et sur le même groupe musculaire.

Les enregistrements électrocardiographiques ont été effectués non seulement pendant la période de travail, mais encore pendant les 3 minutes précédant le travail et pendant les 3 minutes consécutives à l'arrêt des contractions.

.....

R E S U L T A T S

Les résultats que nous donnons ci-dessous concernent essentiellement les variations du temps-limite et du travail-limite au cours du travail statique intermittent réalisé avec le biceps brachial. Nous indiquerons de façon plus brève les faits observés en ce qui concerne les modifications de l'activité électrique du groupe musculaire actif et celles de la fréquence cardiaque.

A) - . TEMPS-LIMITE DU TRAVAIL STATIQUE INTERMITTENT.

Rappelons que le temps-limite est le temps maximal de maintien de la charge à un niveau donné. Nous examinerons les variations du temps-limite en fonction de la charge maintenue pour les deux fréquences de contraction envisagées et en considérant la force développée soit en valeur absolue, soit en pour cent de la force maximale.

1) - Contraction statique intermittente à la fréquence de 2,5/mn.

Si l'on porte sur deux axes de coordonnées les différentes valeurs du temps-limite en fonction des charges maintenues, on obtient un ensemble de points qui pourraient être représentés par une courbe d'allure hyperbolique (v. fig. 9). La position de cette courbe par rapport aux axes se définit par deux éléments :

a) - Elle a par définition son origine sur l'axe des abscisses puisque la force maximale que peut développer le muscle ne peut être maintenue

.....

que pendant cinq à six secondes. Dans notre cas, la force maximale mesurée à l'extrémité distale de l'avant-bras a été trouvée, pour les trois sujets étudiés, égale à 32 kg, 30,5 kg et 30,5 kg.

b) - A l'autre extrémité, cette courbe hyperbolique admet pour asymptote une parallèle à l'axe des ordonnées qui coupe l'axe des abscisses à une valeur de 12 kg environ. On peut donc admettre qu'en dessous de cette force, la contraction statique intermittente peut se poursuivre indéfiniment tout au moins lorsque la proportion entre les phases d'activité et de repos est de l'ordre de 50 p.100. Les valeurs du temps-limite correspondant aux charges les plus faibles utilisées dans notre expérimentation (de 9,5 à 13,1 kg) ont été parfois obtenues par défaut (par arrêt volontaire des contractions) notamment lorsque la durée du travail dépassait 40 minutes.

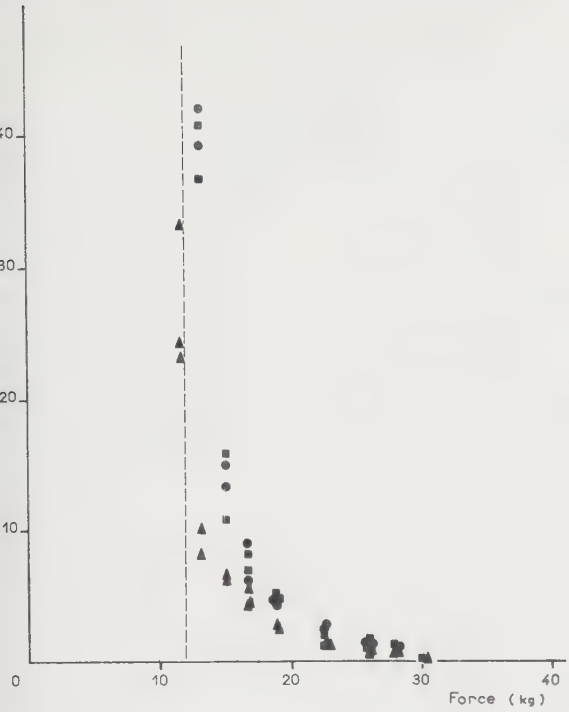
L'examen de la figure 9 permet de remarquer :

a) - La diminution très rapide du temps-limite lorsque la charge croît modérément à partir de 12 kg environ.

b) - La dispersion plus grande des points expérimentaux dans le cas des charges comprises entre 12 kg et 20 kg alors qu'au-dessus de 20 kg cette dispersion est négligeable.

Afin d'éliminer les différences inter-individuelles de force maximale, nous avons représenté (fig. 10) les différentes valeurs du temps-limite en fonction de la force relative utilisée lors des contractions. Le nouveau graphique obtenu ne montre pas une diminution de la dispersion des points expérimentaux comme on aurait pu s'y attendre. Ceci s'explique probablement par le fait que deux sujets avaient la même force maximale (30,5 kg) et que le troisième avait une force voisine de celles des deux premiers (32 kg). On peut d'ailleurs supposer que l'erreur de mesure faite lors de la détermination de la force maximale est du même ordre de grandeur que les différences constatées pour les forces maximales des trois sujets testés.

oooooooo



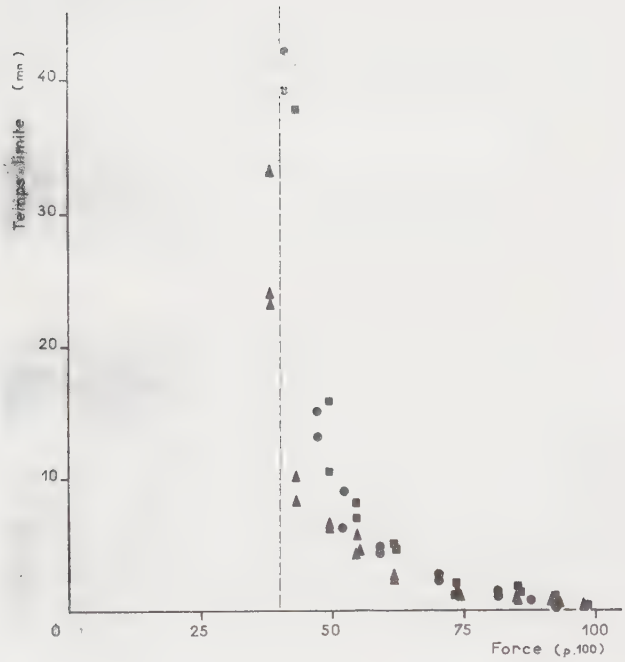


Fig. 9 Temps-limite en fonction de la force

Résultats obtenus pour trois sujets. Fréquence de contraction 2,5/mn. La force exprimée en kg correspond à la charge maintenue.

Fig. 10 Temps-limite en fonction de la force

Résultats obtenus pour trois sujets. Fréquence de contraction 2,5/mn. La force est exprimée par rapport à la force maximale du biceps.

Sur la figure 10, on voit que la force au-dessous de laquelle le travail statique intermittent peut s'effectuer sans fatigue est de 40 p.100 environ de la force maximale du biceps.

2) - Contraction statique intermittente à la fréquence de 10/mn.

L'étude des résultats concernant cette deuxième partie de notre expérimentation fait apparaître une similitude totale avec ce qui vient d'être dit ci-dessus. On retrouve, en effet, une courbe de même type (fig. 11) superposable à la précédente. La valeur de la force pour laquelle le travail peut être poursuivi apparemment sans fatigue se situe là encore aux environs de 12 kg. Seules en diffèrent légèrement les valeurs du temps-limite correspondantes aux charges les plus élevées. Nous reviendrons sur ce point lors de la discussion.

La similitude des résultats obtenus dans les deux parties de notre expérimentation laisse supposer que la fréquence des contractions n'est pas un élément déterminant, tout au moins pour les deux fréquences étudiées.

L'étude du temps-limite en fonction de la force exprimée en p.100 de la force maximale conduit aux mêmes conclusions que précédemment. C'est pourquoi nous n'avons pas cru utile de donner la figure correspondante.

B) - TRAVAIL-LIMITE DU TRAVAIL STATIQUE INTERMITTENT.

Dans le cas du travail statique, le seul résultat de celui-ci est de maintenir une charge donnée pendant un certain temps. C'est ce que l'on peut considérer comme étant le travail extérieur utile. Lorsque la contraction statique est continue, le travail-limite est égal au produit :

force x temps-limite.

.....

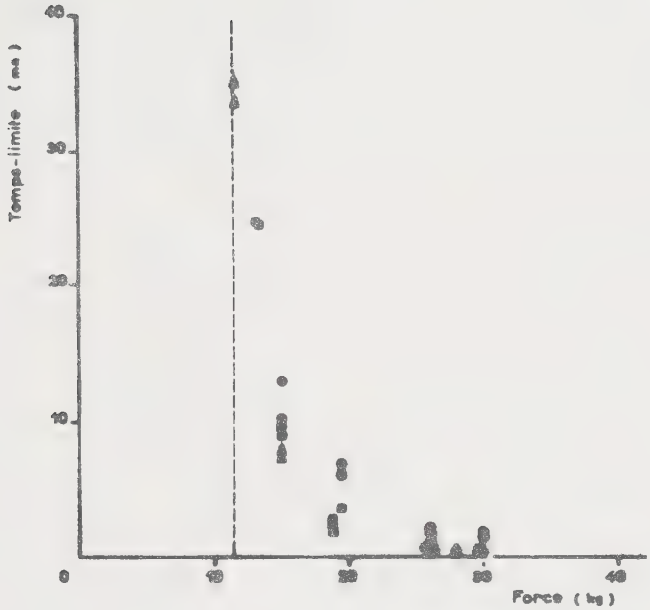


Fig. 11 Temps-limite en fonction de la force

Mêmes sujets que pour les figures précédentes. Fréquence de contraction : 10/mn. Cette figure est à comparer avec la figure 9.

Mais il nous a paru plus précis de déterminer à partir du mécanogramme la durée réelle des phases successives de contraction (temps de travail) et d'en faire la somme. Ceci permet d'éliminer les variations de durées de chaque contraction. Cette détermination amène à des valeurs de temps de travail légèrement supérieures aux chiffres de 50 p.100 théoriquement prévus.

1) - Temps de travail en fonction de la force.

Nous avons représenté sur les figures 12 et 13 le temps de travail réel en fonction de la force exprimée en kilogramme pour les deux fréquences de contraction étudiées. On retrouve nécessairement des courbes de type hyperbolique dont la situation par rapport aux axes de coordonnées restent la même. En effet, par rapport aux figures 9 et 11, la seule modification est un changement d'échelle des ordonnées. L'intérêt de ce mode de représentation est de permettre une comparaison directe avec les courbes correspondantes établies pour le travail statique continu (voir discussion).

2) - Travail-limite en fonction du temps-limite.

En considérant le travail effectué comme le produit de la force exprimée en kilogramme par le temps réel de maintien exprimé en secondes, on peut établir la courbe du travail-limite en fonction du temps-limite. C'est ce que nous avons fait dans les figures 14 et 15 se rapportant respectivement aux fréquences de contraction de 2,5/mn et 10/mn. Dans l'un et l'autre cas, les points expérimentaux se placent en première approximation autour d'une droite lorsque le temps-limite est supérieur à une minute et demi environ, c'est-à-dire lorsqu'il a été réalisé avec des forces inférieures à

.....

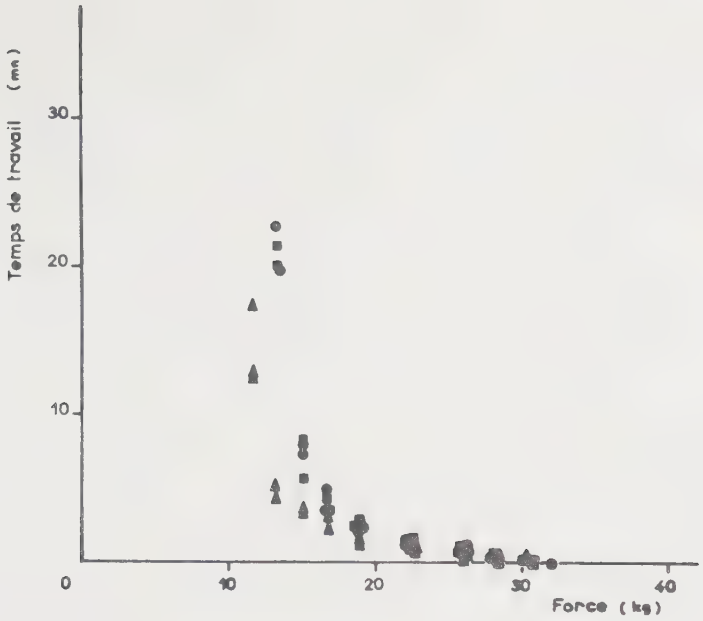


Fig. 12 Temps de travail en fonction de la force.
Fréquence de contraction : 2,5/mn. Comparer avec la figure 9.

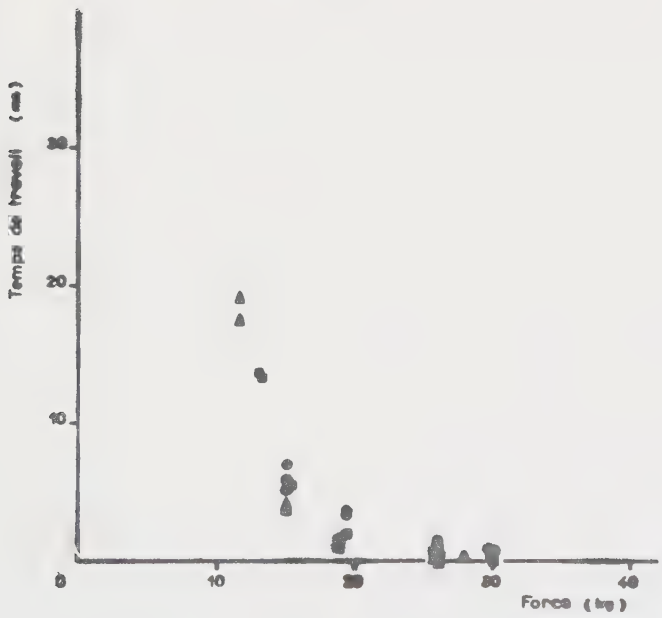
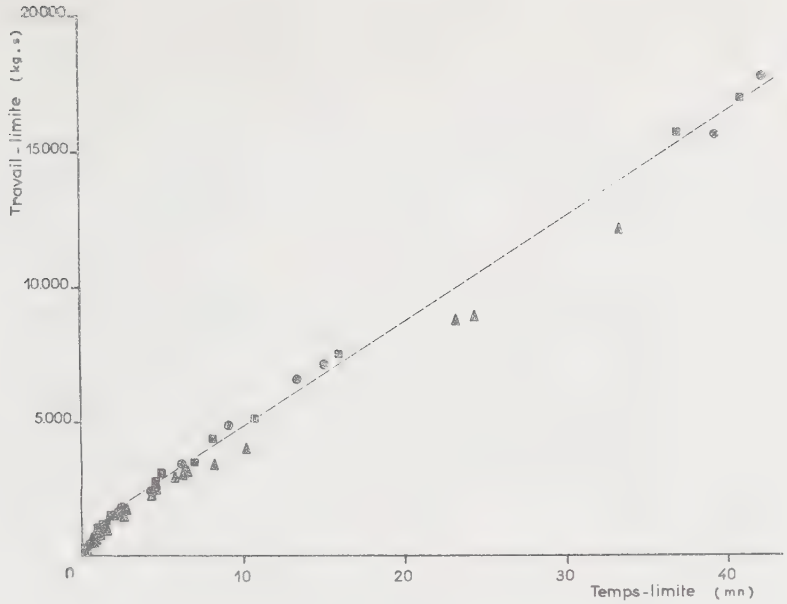


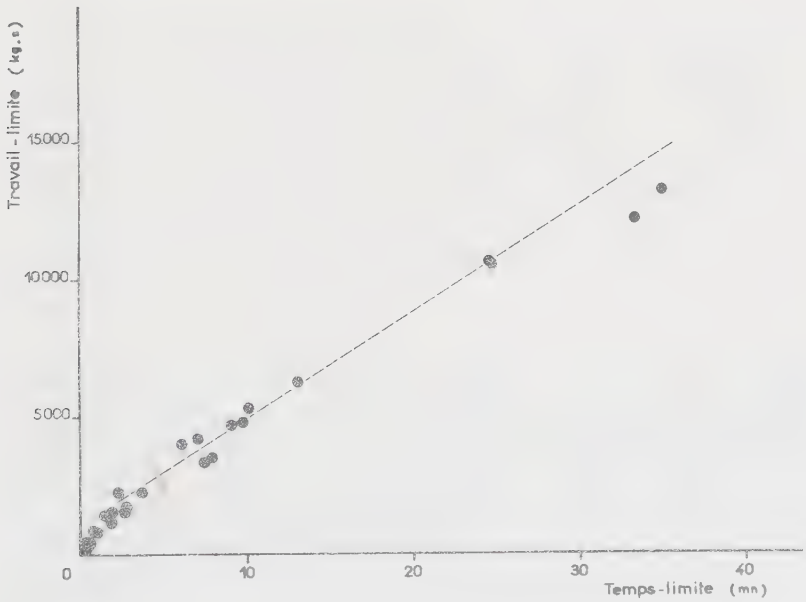
Fig. 13 Temps de travail en fonction de la force.

Fréquence de contraction : 10/mn. Comparer avec la figure 11. Noter la bonne correspondance des points expérimentaux avec ceux de la figure 12.



ig. 14 Travail-limite en fonction du temps-limite

Travail statique intermittent à la fréquence de contraction 2,5/mn.



ig. 15 Travail limite en fonction du temps-limite

Travail statique intermittent à la fréquence de contraction 10/mn.

28 kg, soit approximativement plus de 85 p.100 de la force maximale.

Nous verrons lors de la discussion l'importance de cette représentation graphique pour la comparaison de la capacité de travail dans le cas de la contraction statique intermittente et dans les deux autres cas de travail local précédemment étudiés : la contraction statique continue et la contraction dynamique.

C) - SIGNES OBJECTIFS DU SEUIL D'EPUISEMENT.

1) - VARIATIONS DE L'ACTIVITE ELECTRIQUE.

Le dépouillement des tracés d'électromyographie intégrée permet de conclure de façon quantitative sur les variations de l'activité électromyographique au cours de la contraction statique intermittente, réalisée à la fréquence de 2,5/mn. Les principaux points mis en évidence sont les suivants :

1°) - Il existe une variation de l'activité électrique au cours de chaque phase de contraction. Ces variations ne sont manifestes que pour les périodes de travail suffisamment longues (12 secondes), le dépouillement ayant été effectué pour trois périodes successives de 3 secondes. Ces variations se font le plus souvent dans le sens d'une augmentation de l'activité électrique depuis le début jusqu'à la fin de la période de travail. Cependant, des exceptions sont possibles.

2°) - Il existe une augmentation de l'activité électrique moyenne au cours d'une contraction dès le début et jusqu'à la fin de l'épreuve, exception faite des contractions mettant en jeu des forces relatives de peu supérieures à 40 p.100 et dans ce cas, l'augmentation de l'activité électrique intégrée n'apparaît nettement qu'au début du deuxième tiers de l'épreuve pour se poursuivre de façon linéaire jusqu'au seuil d'épuisement.

3°) - Cette évolution est dans l'ensemble la même pour

.....

des charges faibles et pour des charges élevées. Il existe cependant des différences suivant les forces mises en jeu :

a) - pour les charges les plus élevées (plus de 75 p.100), l'augmentation de l'activité électrique ne semble pas dépasser en fin d'épreuve 120 à 150 p.100 du niveau initial. On comprend que cette élévation puisse ne pas être plus marquée étant donné que l'activité électrique est dans ce cas très importante dès le début de l'épreuve.

b) - Lorsque la force utilisée est de l'ordre de 50 à 70 p.100 de la force maximale, l'augmentation constatée en fin d'épreuve est de 200 à 250 p.100 du niveau initial.

c) - Lorsque la force utilisée ne dépasse pas 50 p.100 de la force maximale, l'augmentation de l'activité électrique peut atteindre en fin d'épreuve 400 à 500 p.100 du niveau moyen constaté au cours des premières contractions.

Les augmentations de l'activité électrique intégrée observée au cours des contractions à la fréquence de 10/mn sont apparemment moins marquées que celles observées pour la fréquence de contraction de 2,5 /mn et qui ont été décrites ci-dessus.

2) - VARIATIONS DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

Le dépouillement des enregistrements électro-cardiographiques effectué par période de 24 secondes (contraction à la fréquence de 2,5/mn) ou de 6 secondes (contraction à la fréquence de 10/mn) fait apparaître les points suivants, si l'on considère les valeurs de la fréquence cardiaque exprimées en pulsation par minute.

1°) - Lorsque la force mise en jeu ne dépasse que de peu le seuil de 40 p.100 correspondant à un travail théoriquement sans épuisement, la fréquence cardiaque ne s'élève pendant le travail que de quelques pulsations par minute et le tracé reste marqué par des

.....

variations aléatoires dont l'amplitude ne dépasse pas cinq ou six pulsations par rapport au niveau moyen.

2°) - Lorsque la force mise en jeu est de l'ordre de 50 ou 60 p.100 de la force maximale, l'accélération cardiaque est égénéralement plus nette. Elle est généralement marquée par trois éléments :

a) - une accélération initiale précédant parfois le début des contractions. Au cours de cette phase très brève (24 secondes), la fréquence cardiaque augmente de 15 à 20 pulsations.

b) - dans une seconde phasedont la durée est d'environ la moitié du temps-limite de l'épreuve, la fréquence cardiaque reste au niveau qui vient d'être atteint. Le tracé reste marqué par de petites oscillations comparables à celles observées au cours du repos.

c) - dans une troisième phase (2ème moitié du travail musculaire), la fréquence cardiaque subit une nouvelle accélération de l'ordre de 25 pulsations, le maximum étant atteint lors du seuil d'épuisement.

3°) - Lorsque la force mise en jeu dépasse 70 ou 80 p.100 de la force maximale, les modifications de la fréquence cardiaque sont plus difficiles à analyser étant donné la rapidité de la survenue du seuil d'épuisement. L'élément constant est l'accélération initiale due à la première contraction statique. Celle-ci se poursuit plus ou moins régulièrement jusqu'au seuil d'épuisement. Suivant les sujets, l' accélération totale est discrète, de l'ordre de 15 à 20 pulsations, ou beaucoup plus marquée pouvant atteindre 50 à 60 pulsations.

4°) - Dès la fin du travail, on observe une chute de la fréquence qui atteint immédiatement le niveau de repos quelque soit la force mise en jeu au cours de la période de travail qui a précédé.

Les variations de la fréquence cardiaque sont les mêmes pour l'une et l'autre fréquence de contraction utilisée dans cette étude.

.....

D I S C U S S I O N

Bien que notre étude ait porté sur un petit nombre de sujets, les résultats qui viennent d'être exposés n'en gardent pas moins une valeur certaine. Il semble d'ailleurs, pour une étude de ce genre, préférable d'expérimenter un grand nombre de fois sur quelques sujets restant égaux à eux-mêmes que sur un plus grand nombre de sujets sur lesquels peu de mesures pourraient être réalisées. Nous envisagerons dans cette discussion quelques points qui retiennent l'attention et se rapportant soit aux résultats eux-mêmes, soit à la comparaison des différentes formes de travail musculaire local.

A) - ETUDE CRITIQUE DES RESULTATS.

Une légère discordance apparaît entre les courbes représentant le temps-limite en fonction de la force développée que nous avons données dans les figures 9 (f = 2,5/mn) et 11 (f = 10/mn). Il semble en effet que pour la fréquence de 10/mn, la valeur moyenne du temps-limite soit légèrement supérieure à ce qu'elle est à la fréquence de 2,5/mn pour les forces les plus élevées. Les différences ne sont d'ailleurs probablement pas significatives. Deux explications peuvent être données :

a) - La force musculaire maximale a peut être légèrement varié au cours de l'expérimentation. Or, la série de contractions à la fréquence de 10/mn a été effectuée entièrement après la série de contractions à la fréquence de 2,5/mn. La première série de mesures a donc réalisé un entraînement du groupe musculaire

.....

étudié. Il semble cependant que cet entraînement soit faible.

b) - Plus vraisemblablement apparaît une autre explication étant donné que la discordance constatée ne porte que sur les épreuves à force élevée (l'entraînement devrait jouer au moins autant, sinon plus, pour les contractions à force modérée). La survenue du seuil d'épuisement n'a pas le même caractère lorsque celui-ci est jugé sur l'interruption non volontaire de contractions statiques dont la durée est de 3 secondes dans un cas et de 12 secondes dans l'autre. Si en effet, pour un même état de fatigue préterminale, le muscle ne dispose que d'une réserve énergétique lui permettant d'exercer sa force pendant moins de 12 secondes soit par exemples 9 secondes, le seuil d'épuisement surviendra, par définition, au bout de ces 9 secondes si la fréquence de contractions est de 2,5/mn mais si la fréquence des contractions est de 10 /mn, le muscle pourra continuer à se contracter pendant au moins 3 périodes de 3 secondes. Ces 3 périodes seront séparées l'une de l'autre par des périodes de repos de 3 secondes également et dans l'exemple qui vient d'être choisi, le seuil d'épuisement surviendra au bout de 15 secondes au minimum puisqu'il faudrait éventuellement tenir compte de l'énergie récupérée par le muscle pendant les phases de repos et utilisable pour poursuivre les contractions.

Si nous faisons abstraction de cette légère divergence dans le cas des forces élevées, la similitude des deux courbes des figures 9 et 11 est parfaite. Nous pouvons donc conclure que la fréquence des contractions n'est pas un élément déterminant dans la survenue du seuil d'épuisement, tout au moins dans les limites de notre étude. Il est probable qu'il n'en serait pas de même si les fréquences de contraction étaient telles que la durée de celles-ci soit ou beaucoup plus grande ou beaucoup plus petite. Dans le premier cas, la contraction statique intermittente aboutirait à une ischémie prolongée; dans le second cas, la brièveté des périodes de repos ne permettrait pas l'installation d'un débit moyen suffisant dans le muscle actif.

.....

Nous n'avons pas tenté de rechercher pour la relation entre la force mise en jeu et le temps-limite l'expression mathématique de la courbe qui la représente. Dans sa thèse consacrée au travail statique continu, MONOD (1956) avait abordé le problème en portant les points expérimentaux sur des axes bilogarithmiques. Ces points se disposaient, en première approximation, de façon à peu près linéaire et la formulation mathématique proposée était relativement simple. L'étude ultérieure de ROHMERT (1960) amenant à une formule plus complexe n'avait pas changé sensiblement la force de cette relation.

Avec nos résultats expérimentaux, nous obtenons des points qui ne se disposent pas de façon aussi nette suivant une droite en représentation bilogarithmique. L'équation de notre courbe est probablement plus complexe que dans le cas du travail statique continu.

Nous n'insisterons pas sur les signes objectivant le seuil d'épuisement utilisés dans cette étude si ce n'est pour souligner leur intérêt chaque fois qu'un travail musculaire allant jusqu'à la fatigue est effectué.

En ce qui concerne les variations de l'électromyogramme, nous avons constaté une augmentation de l'activité électrique du muscle lors de la fatigue. Le travail statique intermittent ne semble donc pas se différencier sur ce point des autres formes de travail local. On peut seulement remarquer, au cours d'un travail statique intermittent, que l'activité électrique du début d'une contraction est généralement inférieure à l'activité électrique mise en évidence à la fin de la contraction précédente.

En ce qui concerne les variations de la fréquence cardiaque on remarque que le travail statique intermittent se rapproche davantage de la contraction dynamique locale que de la contraction statique continue. On sait en effet que dans ce dernier cas, l'accélération de la fréquence cardiaque est le plus souvent progressive mais continue (v. MONOD, 1956). Or, nous avons vu l'existence possible d'une période pendant laquelle la fréquence cardiaque pouvait rester en plateau comme ce peut être le cas au

.....

cours du travail dynamique. Les trois éléments que l'on retrouve constamment au cours des trois formes d'activité musculaire sont l'accélération cardiaque initiale, l'accélération cardiaque préterminale et la diminution brutale de la fréquence cardiaque dès l'arrêt des contractions.

B) - COMPARAISON AVEC LE TRAVAIL STATIQUE CONTINU ET AVEC LE TRAVAIL DYNAMIQUE.

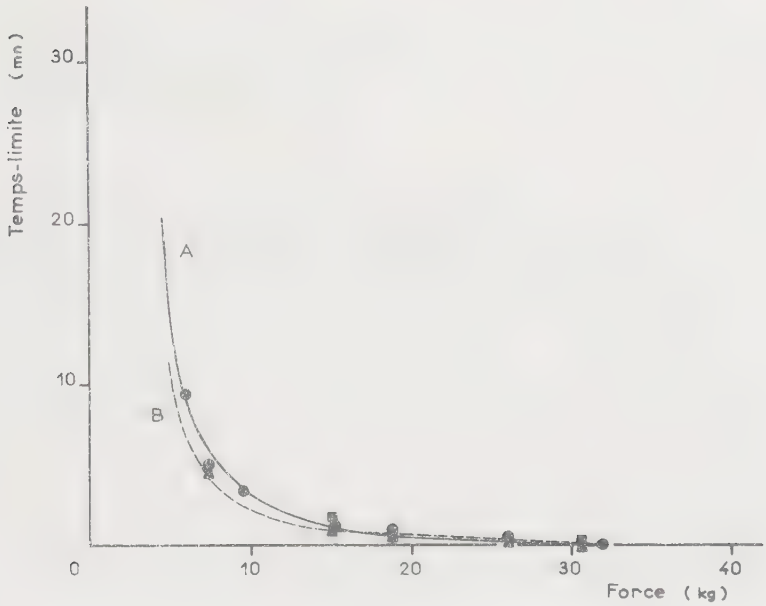
Afin de mieux comparer nos résultats concernant la contraction statique intermittente avec la contraction statique continue, nous avons déterminé quelques valeurs du temps-limite pour du travail statique continu effectué par nos trois sujets et dans les mêmes conditions expérimentales que pour le travail intermittent. Les valeurs obtenues pour différentes charges sont portées sur la figure 16. On remarque que nos points se disposent de façon satisfaisante par rapport à la courbe générale donnée par MONOD et SCHERRER (1957) ou par ROHMERT (1960).

La comparaison entre le travail statique continu et le travail statique intermittent peut être faite en portant sur une même figure les courbes du temps de travail en fonction de la force relative mise en jeu. Ces courbes ont été portées sur la figure 17 qui fait ressortir les avantages de la contraction interrompue sur la contraction continue :

1°) - La force pour laquelle le travail statique peut être poursuivi sans épuisement passe de 14 p.100 ((travail continu) à 40 p.100 (travail intermittent). Ces deux valeurs ont la même signification que la puissance critique définie pour le travail dynamique (v. SCHERRER et MONOD, 1960).

2°) - Pour des forces relatives comprises entre 40 et 70 p.100 le temps travail pendant lequel une force donnée peut être exercée est notablement augmenté dans la proportion de 3 à 5 fois. C'est ainsi que pour une force relative de 50 p.100, le temps de travail est de 1 minute pour le travail statique continu, mais de 4 minutes environ pour le travail statique intermittent, ce qui

.....



g. 16 Temps-limite de la contraction statique continue

On a représenté sur cette figure :

1°) deux courbes moyennes théoriques d'après (A) SCHERRER et MONOD (1957) et (B) ROHMERT (1960).

2°) les valeurs expérimentales obtenues sur les trois sujets ayant réalisé par ailleurs le travail statique intermittent. On voit la bonne concordance entre nos résultats et la relation de caractère général indiquée par ces auteurs.

correspond dans ce dernier cas à un temps-limite de 3 minutes.

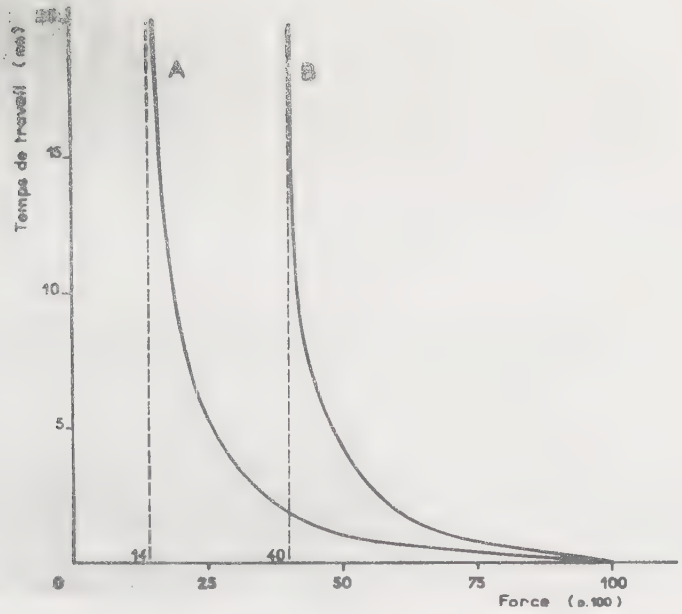
3°) - Au-dessus d'une force relative de 70 p.100, cette augmentation est plus discrète, de l'ordre de 2fois environ.

Ces constatations tiennent au fait que le muscle peut reconstituer, tout au moins partiellement, sa réserve énergétique, par suite d'une augmentation du débit moyen dans le muscle lorsque les contractions sont interrompues. C'est ce que laissait entendre, à propos du travail dynamique, SAMSON (1953), en disant que"l'existence d'une phase de repos si brève soit-elle, augmente considérablement les possibilités du travail".

La valeur de la force liminaire, qui dans notre cas a été de 40 p.100, ne peut être liée qu'au rapport existant entre la durée du travail et celle du repos. Une étude comparative du débit sanguin moyen dans le muscle au cours d'un travail statique et du débit entre les phases de contraction pourrait être faite indirectement.

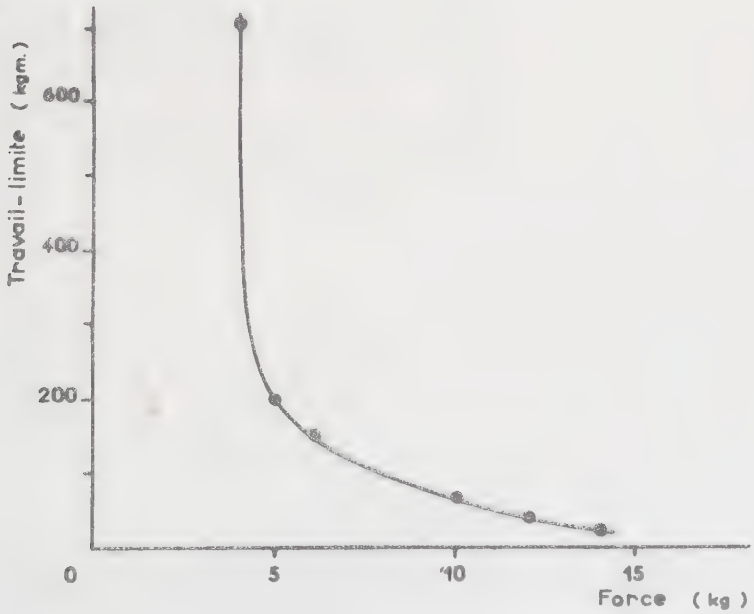
Il est intéressant de noter que la forme des deux courbes de la figure 17 est de même type; elles mettent en évidence la diminution très rapide du temps de travail lorsque la force croît même légèrement au-dessus d'un seuil définissant la puissance critique d'un travail statique. Ces courbes sont à rapprocher de celles données pour le travail dynamique local (fig. 18) par SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954).

.....



g. 17 Temps de travail statique en fonction de la force

On a représenté la quantité de travail que peut réaliser le groupe musculaire des fléchisseurs de l'avant-bras dans le cas de la contraction continue (A) et dans le cas de la contraction statique intermittente (B). On voit que les périodes de repos intercalées entre les périodes de travail permet au muscle de réaliser une quantité de travail supplémentaire. Les seuils de 14 p 100 et 40 pour 100 indiqués prennent la valeur d'une puissance critique.



g. 18 Travail-limite dynamique en fonction de la force.

Courbe obtenue pour le triceps brachial dans un travail dynamique où la variation de puissance a été obtenue par variation de la charge (d'après SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE, 1954).

C) - CAPACITE DE TRAVAIL D'UN GROUPE MUSCULAIRE.

Nous avons donné sur les figures 14 et 15 deux courbes du travail-limite(la quantité de travail réalisée jusqu'à l'épuisement) exprimé en kg.s en fonction du temps-limite (temps au bout duquel survient cet épuisement) exprimé en mn. L'avantage de ces courbes est d'indiquer clairement quelle quantité de travail le muscle peut effectuer en un temps donné. La figure 14 montre par exemple qu'au bout de 20 minutes, 3.700 kg.s environ auront été réalisés par le biceps.

Le même type de représentation graphique peut être utilisé dans le cas du travail statique continu. A partir de la courbe du temps-limite en fonction de la force (v. fig. 4) donnée par MONOD et SCHERRER (1957), nous avons tracé une courbe moyenne du travail-limite en fonction du temps-limite. La figure 19, qui représente cette dernière, indique par exemple qu'au bout de 10 minutes 3.400 kg.s environ auront été réalisés par le biceps.

Dans le cas du travail dynamique, on sait que SAMSON (1953), SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954) ont aussi donné des courbes du travail-limite en fonction du temps-limite (v. fig. 2 et 20).

Quelques remarques s'imposent sur le plan théorique ou pratique pour l'ensemble des courbes de travail-limite en en fonction du temps-limite dont il vient d'être question.

1) - Le travail-limite augmente de façon linéaire avec le temps-limite, pour des valeurs de celui-ci comprises entre 1 mn et 1 mn 30 s et 30 ou 40 mn environ. Une équation du type $a + bt$ avait été proposée pour le travail dynamique par SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954); il semble qu'elle puisse être étendue aux deux formes possibles de la contraction statique. L'interprétation donnée par ces auteurs aux facteurs a, réserve énergétique et b, taux de reconstitution, peut être évoquée à nouveau pour la contraction statique intermittente ou continue. En effet, la valeur du facteur a est toujours positive.

.....

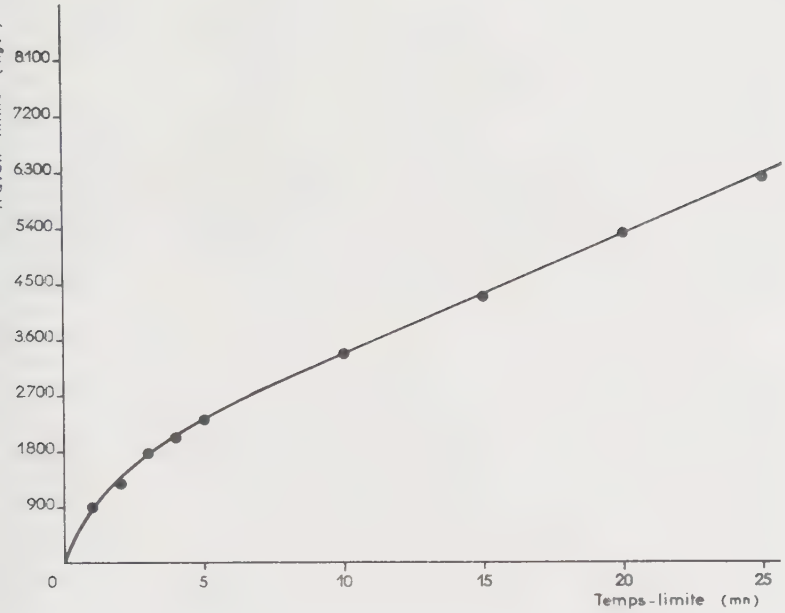
2) - Si l'on considère les variations du travail-limite pour des temps-limite inférieurs à 1 mn 30 pour le travail statique intermittent (fig. 14 et 15), ou à 5 mn pour le travail statique continu (fig. 19), il apparait que les droites décrites ci-dessus s'infléchissent vers l'axe des abscisses. Le même fait avait été mentionné par SCHERRER, SAMSON et PALEOLOGUE (1954) dans le cas d'un travail dynamique local où la variation de la puissance est obtenue par variation de la charge : l'infléchissement de la droite survenait lors de temps-limite inférieurs à 4 mn.

Lorsque la fatigue musculaire locale est obtenue pour des charges différentes, comme c'est obligatoirement le cas dans le travail statique, il faut rappeler que l'épuisement n'a pas la même signification pour chaque valeur de la force : le muscle relativement épuisé pour une contraction maintenant 20 kg, est encore capable de se contracter pour maintenir 10 kg.

3) - Pour une raison qui n'est pas évidente, il semble donc que, quelle que soit la modalité du travail local, le muscle soit incapable d'utiliser complètement sa réser-énergétique si la force de contraction est trop élevée. On pourrait également supposer que le muscle ne bénéficie pas dans les premières minutes du travail d'un débit suffisant et que de ce fait le taux de reconstitution initial est inférieur à ce qu'il sera dans la période du "steady state local" : ou alors l'épuisement de la fibre musculaire pourrait ne pas être uniquement en rapport avec des phénomènes énergétiques lorsque les forces mises en jeu sont élevées. C'est ce que laissait supposer la constatation faite par BOURGUIGNON, MARTY et SCHERRER (1959) d'une chute de la force musculaire(donc d'un épuisement) lors de contractions isométriques brèves, même si la fréquence de répétition de celles-ci est très basse. Dans ce dernier cas les phénomènes circulatoires ou énergétiques ne peuvent pas être invoqués pour expliquer l'épuisement.

4) - Si l'on ne tient compte que de la portion linéaire des courbes de travail-limite en fonction du temps-limite, il est possible de représenter sur le même

.....



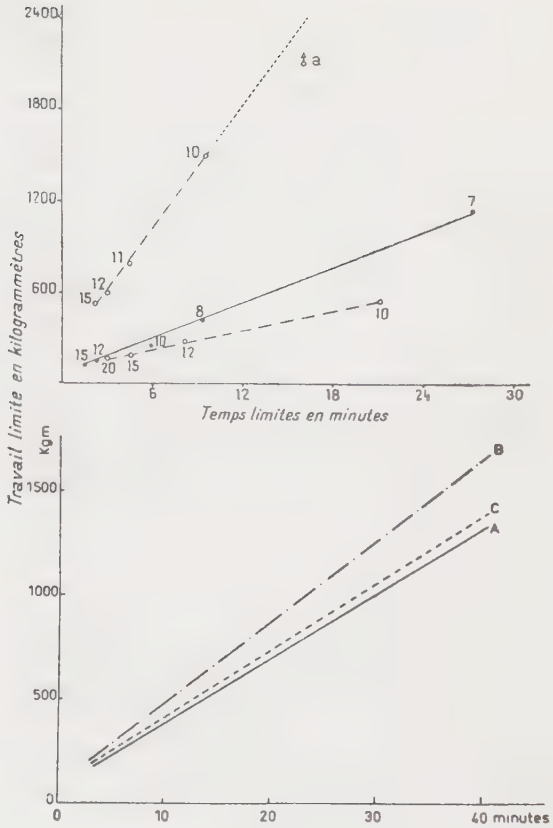


Fig. 19 Travail-limite de la contraction statique continue

Le travail-limite a été représenté en ordonnée , en fonction du temps-limite d'après les résultats de SCHERRER et MONOD (1957). Comparer avec les figures 14-15 pour le travail statique intermittent, avec la figure ci-dessous pour le travail dynamique.

Fig. 20 Travail-limite de la contraction dynamique.

Le travail limite a été représenté en fonction du temps-limite . Dans la partie supérieure, courbe de puissance critique obtenue pour trois muscles différents. De haut en bas : quadriceps, biceps brachial et triceps brachial.

Dans la partie inférieure, modifications de la puissance critique pour le triceps : A- avant entrainement ; B- après entrainement ; C - après fatigue chez le sujet entrainé (d'après SCHERRER et MONOD, 1960).

graphique la capacité de travail du biceps brachial pour les trois formes d'activité musculaire locale. Sur la figure 21, on a représenté en abscisse le temps-limite et en ordonnée trois échelles correspondant au travail dynamique, exprimé en kilogrammètre, au travail statique continu et au travail statique intermittent exprimés l'un et l'autre en kilogramme-minute, multiple du kilogramme-seconde. Les échelles ont été calculées d'après les figures 14 et 15 pour le travail statique intermittent, 19 pour le travail statique continu et d'après la droite de la figure 20 se rapportant au biceps brachial pour le travail dynamique.

La question posée au début de cette étude expérimentale et qui était de savoir quelle quantité de travail un muscle pouvait effectuer pour l'une des formes d'activité musculaire locale trouve donc ici sa réponse. On voit immédiatement sur la figure 21 que la quantité de travail effectué par le biceps brachial avant épuisement sera environ de 465 kgm dynamiques, de 57 kg.mn continus ou de 77 kg.mn intermittent, si l'épuisement survient au bout de 10 minutes.

Une équivalence peut donc être proposée entre le travail dynamique et le travail statique intermittent. On voit en effet d'après les chiffres indiqués ci-dessus, qu'au bout de 10 minutes le même mucle aura effectué avant épuisement soit 465 kgm, soit 77 kg.mn, c'est-à-dire 4.620 kg.s. L'équivalence entre ces deux formes d'activité musculaire locale non ischémiante s'établit à environ 10 kg.s pour 1 kgm.

D) - CONCLUSION.

Les résultats obtenus dans cette étude sur le travail statique intermittent paraissent intéressants pour les raisons suivantes :

1) - Nous avons acquis une meilleure connaissance des conditions de l'épuisement au cours de la contraction

.....

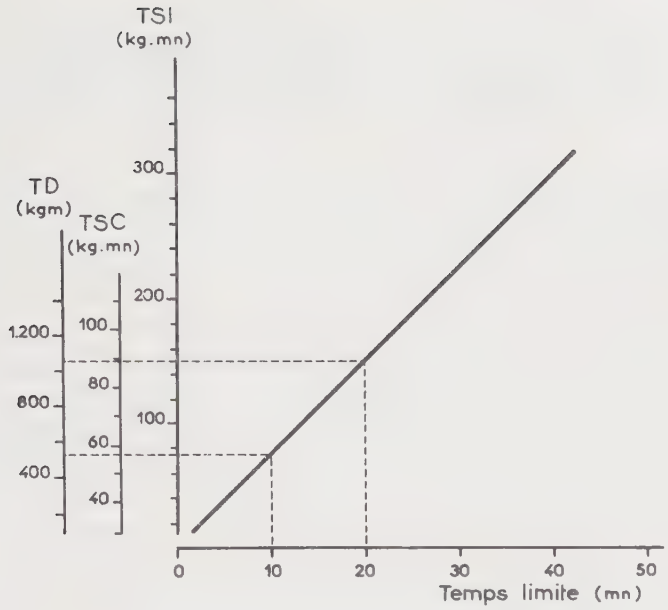


Fig. 21 Capacité de travail des fléchisseurs de l'avant-bras.

La droite indique la quantité de travail dynamique, (T.D.), statique continu (T.S.C.), ou statique intermittent (T.S.I.), que peut effectuer le biceps brachial pour un temps-limite donné.

statique intermittente en précisant notamment la courbe du temps de maintien en fonction de la force mise en jeu et la valeur de la puissance critique du travail statique intermittent.

2) - La même relation a été mise en évidence pour les travaux statiques effectués à la fréquence de 2,5/mn ou à la fréquence de 10/mn.

3) - La contraction statique intermittente présente des avantages certains par rapport au travail statique continu puisque des charges plus élevées peuvent être maintenues pendant des temps plus longs avant que n'apparaisse la fatigue dans le premiertype de contraction.

4) - L'ensemble de nos résultats complètent les données antérieurement acquises sur la capacité de travail d'un groupe musculaire.

.....

RESUME ET CONCLUSION

I° - Notre étude, réalisée chez l'Homme, porte sur la contraction statique intermittente des muscles fléchisseurs de l'avant-bras dont nous nous proposions de déterminer la capacité de travail. Nos investigations reposent sur les notions de seuil d'épuisement local, de temps-limite, de travail-limite et de puissance critique. notions proposées antérieurement par d'autres auteurs à propos de la contraction dynamique et de la contraction statique continue.

2° - Le travail musculaire a consisté à maintenir avec le biceps brachial de façon intermittente une charge à un niveau donné. Les contractions intermittentes, réalisant des périodes d'activité et de repos égales, ont été répétées, aux fréquences de 2,5/mn ou de 10/mn, jusqu'au seuil d'épuisement. L'activité électrique du muscle actif et la fréquence cardiaque ont été enregistrées.

3° - La courbe des variations du temps-limite en fonction de la force développée par le muscle se rapproche d'une branche d'hyperbole. Le travail statique intermittent peut donc être poursuivi sans fatigue pendant un temps théoriquement infini si la force mise en jeu ne dépasse pas un certain niveau. Cette force dont la valeur dépend du rapport des durées d'activité et de repos définit le régime critique du travail statique. La fréquence des phases de contraction n'est pas apparue comme étant un élément déterminant dans la survenue du seuil d'épuisement lorsque leur durée cumulée par unité de temps reste constante.

.....

4° - Le régime critique du travail statique intermittent est supérieur à celui du travail statique continu : à force égale, la contraction intermittente permet de réaliser une quantité de travail, exprimée en kilogramme-seconde, plus importante que la contraction continue. Le surcroît de travail ainsi réalisé est dû aux meilleures conditions circulatoires dans le muscle qui effectue un travail statique intermittent. Cette forme d'activité s'apparente donc au travail dynamique plus qu'au travail statique continu.

5° - Nos résultats permettent de proposer une équivalence entre le travail dynamique et le travail statique réalisé par le muscle non ischémié en un temps donné.

Vu, le Président de Thèse

Professeur BARGETON

Vu le Doyen de la Faculté

Professeur L. BINET

Vu et Permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris

J. ROCHE

B I B L I O G R A P H I E

ABBOTT, B.C. et BIGLAND, B. (1953)

The effects of force and speed changes on the rate of oxygen consumption during negative work.

J. Physiol., London, 120, 319-325.

ASMUSSEN, E. (1953)

Positive and negative muscular work.

Acta Physiol. Scand., 28, 364-382.

BARCROFT, H. et MILLEN, J.L.E. (1939)

The blood flow trough during sustained contraction.

J. Physiol., London, 97, 17-31.

BATES, J.A.V. et COOPER, J.D. (1954)

A simple electronic circuit for measuring voltage time integral.

J. Physiol., London, 123, 28P-29P.

BECLARD, J. (1861)

De la contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale.

Arch. gén. de Méd., 17, 157-130.

.....

BEDFORD, T., VERNON, H.M. et WARNER, C.G. (1953)

The influence of static effort on the respiration and on the respiratory exchange.

J. Hyg., 33, 113-150.

BOURGUIGNON, A., MARTY, R. et SCHERRER, J. (1959)

Etude du travail musculaire et de la fatigue. II. Données dynamographiques obtenues chez l'Homme.

J. Physiol., Paris, 51, 93 110.

CHAIN, F. (1960)

Contribution à l'étude de l'activité motrice normale et pathologique.

Thèse Méd., Paris, 217 p.

CHAUVEAU, A. (1890)

L'élasticité active du muscle et l'énergie consacrée à sa création dans le cas de contraction statique.

C.R. Acad. Sci., Paris, 111, 19-26.

CHAUVEAU, A. (1904)

L'énergie dépensée par le travail intérieur des muscles dans leurs divers modes de contraction.

Gauthier-Villars, Ed., Paris, 53 p.

CHAUVEAU, A. (1907)

L'énergie dépensée par le travail intérieur des muscles dans leurs divers modes de contraction.

Gauthier-Villars, Ed., Paris, 1 vol. 21 p.

.....

CHAUVEAU, A. et TISSOT, J. (1896)

L'énergie dépensée par le muscle en contraction statique pour le soutien d'une charge d'après les échanges respiratoires.

C.R. Acad. Sci. Paris, 123, 1236-1241.

DOLGIN, P. et LEHMANN, G. (1929)

Ein Beitrag zur Physiologie der statischen Arbeit.

Arbeitsphysiol.,2 , 248-252.

GRANT, R.T. (1938)

Observations on the blood pressure in voluntary muscle in man.

Clin. Sc., 3, 157-173.

HEGER, P. (1953)

Contribution à l'étude de la régulation cardiaque et ventilatoire au début de l'exercice musculaire.

Thèse Méd., Paris, 49 p.

KAYSER, C.H. (1943)

La fatigue dans le travail statique.

Méd. Ed. Phys. Sport., 1, 63-91.

LAVILLE, A. (1961)

Coût énergétique du travail statique.

Thèse Méd., Paris, 64 p.

.....

LAVILLE, A., MONOD, H., SCHERRER, J. et SOULA, C. (1961)

La consommation d'oxygène dans le travail statique des groupes musculaires différents.

J. Physiol., Paris, 53, 397.

LAVILLE, A., LILLE, F. et MONOD, H. (1962)

La fréquence cardiaque au cours du travail statique intermittent.

J. Physiol., Paris, 54, 363-364.

MONOD, H., LAVILLE, A., SCHERRER J. et SOULA, C. (1962)

Coût énergétique du travail statique chez l'Homme.

XXII° International Congress of physiological Sciences, N° 731, LEIDEN.

MONOD, H. (1956)

Contribution à l'étude du travail statique.

Thèse Méd., Paris, 124 p.

MONOD, H. et SCHERRER, J. (1957)

Capacité de travail statique d'un groupe musculaire synergique chez l'Homme.

C.R. Soc. Biol., 151, 1353-1362.

MULLER, E.A. (1932)

Das Arbeitsmaximum bei statischer Haltearbeit.

Arbeitsphysiol., 5, 605-612.

ROHMERT, W. Von (1960)

Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen.

Int. Z, angew. Physiol., 13, 123-164.

.....

SAMSON, M.

Contribution à l'étude ergométrique de la fatigue neuro-musculaire normale et pathologique.

Thèse Méd., Paris, 120 p.

SCHERRER, J., SAMSON, M. et PALEOLOGUE, A. (1953)

La notion de travail-limite du muscle et le seuil de fatigue.

C.R. Soc. Biol., Paris, 147, 1993-1996.

SCHERRER, J., SAMSON, M. et PALEOLOGUE, A. (1954)

Etude du travail musculaire et de la fatigue.
I. Données ergométriques obtenues chez l'Homme.

J. Physiol., Paris, 46, 887-916.

SCHERRER, J., SAMSON, M. et SOULA, C. (1954)

Etude électromyographique de la fatigue musculaire normale.

J. Physiol., Paris, 46, 517-520.

SCHERRER, J. et SAMSON, M. (1955)

Etude de la force musculaire au cours et à la suite d'un travail dynamique.

J. Physiol., Paris, 47, 272.

SCHERRER, J., BOURGUIGNON, A., SAMSON, M. et MARTY, R. (1956)

Electromyographie intégrée du travail musculaire et de la fatigue.

20ème Congrès Intern. Physiol., Bruxelles, 302-303.

.....

SCHERRER, J., BOURGUIGNON, A., MARTY, R. (1957)

Evaluation électromyographique du travail statique.

J. Physiol., Paris, 49, 376-378.

SCHERRER, J., LEFEBVRE, J. et BOURGUIGNON, A. (1957)

Activité électrique du muscle strié et fatigue.

1er Congrès Internat. Sci. Neurol.

Acta Medica Belgica, Bruxelles, 99-123.

SCHERRER, J. et BOURGUIGNON, A. (1959)

Changes in the électromyogram produced by fatigue in man.

Amer. J. Phys. Med., 38, 148-153.

SCHERRER, J. et MONOD, H. (1960)

Le travail musculaire local et la fatigue chez l'Homme.

J. Physiol., Paris, 52, 419-501.

SCHERRER, J., BOURGUIGNON, A. et MONOD, H. (1960)

La fatigue dans le travail statique.

Rev. Pathol. Gén., 60, 357-367.

TAPIE, J. (1886)

Travail et chaleur musculaires.

Thèse d'Agrégation, n° 10, Paris, 38 p., Davy impri

WACHHOLDER, K. (1930)

Die Arbeitsfähigkeit des Menschen in ihrer Abhängigkeit von der Funktionsweise des Muskel-und Nervensystems

Handb. norm. pathol. Physiol., XV/I, 537-642. Springer., Berlin.

TABLE DES MATIERES

I - Introduction 1

II - Historique 3

A - Capacité de travail dynamique 4

B - Capacité de travail statique 10

C - Signes objectivant le seuil d'épuisement 16

D - Travail statique intermittent 19

III - Méthode d'étude et technique 21

A - Moyens techniques 22

B - Protocole expérimental 26

IV - Résultats 30

A - Temps-limite du travail statique 30

B - Travail-limite du travail statique 33

C - Signes objectifs du seuil d'épuisement 38

V - Discussion 41

A - Etude critique des résultats 41

B - Comparaison avec le travail statique continu et avec le travail dynamique 44

C - Capacité de travail d'un groupe musculaire 48

D - Conclusion 51

VI - Résumé et conclusions 54

VII - Bibliographie 56